

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Impact d'une légère hypohydratation sur une performance de 100 m nage libre
et la production de force sur un bloc de départ chez des nageurs compétitifs de
niveau universitaire.

Par Mohamed El Fethi Abed

Mémoire présenté à la Faculté d'éducation physique et sportive
En vue de l'obtention du grade de
Maîtrise en sciences (M.Sc.)
Maîtrise en sciences de l'activité physique

Avril 2020

© Mohamed El Fethi Abed

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté d'éducation physique et sportive

Impact d'une légère hypohydratation sur une performance de 100 m nage libre
et la production de force sur un bloc de départ chez des nageurs compétitifs de
niveau universitaire.

Mohamed El Fethi Abed

A été évalué par un Jury composé des personnes suivantes :

Directeur de recherche :

Eric Goulet, Ph.D.

Membre interne :

Martin Brochu, Ph.D.

Membre externe :

Jonathan Tremblay, Ph.D.

Président du Jury :

Martin Brochu, Ph.D.

SOMMAIRE

Le record du monde du 100 m nage libre en bassin de 50 m est présentement de 46.9 sec. Le record canadien, quant à lui, appartient à Brent Hayden en un temps de 47.3 sec. Les temps auxquels ces performances ont été réalisées suggèrent que les systèmes phosphagènes et glycolytiques fournissent la vaste majorité de l'ATP nécessaire à l'alimentation des muscles en énergie. Or, une récente méta-analyse publiée par notre laboratoire de recherche démontre que l'hypohydratation diminue de façon significative la performance musculaire, plus particulièrement la puissance, la capacité et l'endurance musculaire (Savoie, Kenefick, Ely, Cheuvront et Goulet, 2015a). Sur la base de cette observation, il est raisonnable de croire qu'un état d'hypohydratation pré-exercice pourrait affecter négativement la performance lors d'un 100 m nage libre.

Bien que plusieurs mécanismes physiologiques puissent expliquer une baisse de la performance lors d'une épreuve de type aérobie (ex., marathon) effectuée en état d'hypohydratation (Cheuvront, Carter, Montain et Sawka, 2004a), très peu peuvent être mis de l'avant pour expliquer le changement de performance lors d'un exercice de courte durée effectué à intensité élevée. L'un des impacts possibles de l'hypohydratation lors de tels exercices serait l'incapacité du système nerveux à recruter et stimuler de façon optimale les fibres musculaires de type 2 (Judelson, Maresh, Anderson, et al., 2007a).

Il a été démontré que les adultes et les enfants ne boivent pas suffisamment pour remplacer les pertes d'eau par sudation, la bouche ou l'urine avant, pendant et après l'exercice dans des conditions chaudes et présentent une hypohydratation même lorsque les liquides sont fournis *ad libitum* (Passe, Horn, Stofan, Horswill et Murray, 2007). Des études ont enregistré un état d'hypohydratation chez des nageurs adolescents le matin avant l'entraînement, en se basant sur leur concentration d'urine,

c.à.d., la gravité spécifique urinaire ou l'osmolalité de l'urine (Adams et al., 2016a; Arnaoutis et al., 2015). Cela est engendré par le manque de surveillance de l'état d'hydratation des nageurs. De plus, les nageurs participent à plusieurs épreuves lors d'une compétition de natation. L'excitation de la journée combinée aux multiples périodes de récupération et d'échauffement peut ne pas donner suffisamment de temps pour inverser l'hypohydratation, mettant l'athlète dans une situation où il peut participer à plus d'une épreuve de natation hypohydratée. Néanmoins, ces résultats sont basés sur des constats émis suite à des expérimentations explorant l'état hydrique des nageurs avant l'entraînement seulement.

À notre connaissance, aucune étude n'a examiné l'impact de l'hypohydratation pré-exercice sur une épreuve de distance unique reconnue par la Fédération Internationale de Natation (FINA). Compte tenu de l'impact substantiel que l'hypohydratation peut avoir sur la performance musculaire par rapport aux marges de temps pour une exclusion du podium, comprendre le degré auquel l'hypohydratation pourrait affecter la performance d'un nageur est essentiel pour les athlètes et les entraîneurs qui cherchent à optimiser la performance. Le but de la présente étude est d'examiner l'effet d'un niveau d'hypohydratation légère écologiquement valide de 1.5% de la masse corporelle sur la performance de 100 m nage libre et la production de force sur le bloc de départ chez des nageurs de niveau universitaire.

Au moins une heure après avoir été passivement exposés à la chaleur où une perte de masse corporelle de 1.5% a été induite ou une euhydratation maintenue, neuf nageurs compétitifs de niveau universitaire (6 sexes masculins et 3 sexes féminins ; 22 ± 2 ans; 71 ± 9 kg) ont subi une évaluation de leur production de force maximale sur le bloc de départ et de leur performance lors d'un 100 m nage libre. La fréquence cardiaque et la température rectale ont été mesurées, tout comme la perception de la chaleur, de la soif et de la nausée pendant et après la phase d'exposition à la chaleur et à la piscine.

Une heure après l'hypohydratation, la température rectale était revenue à la valeur de base dans chacune des conditions. L'osmolalité et la gravité spécifique de l'urine étaient significativement plus élevées avec l'hypohydratation (995 ± 65 mOsmol / kg ; 1.027 ± 0.003 g / mL) qu'avec l'euhydratation (428 ± 345 mOsmol / kg ; 1.016 ± 0.007 g / mL) avant les tests, ce aussi pour la perception de soif. La performance de nage (hypohydratation : 63.00 ± 0.04 sec ; euhydratation : 63.09 ± 0.05 sec, $p = 0.86$) et la production de force maximale sur le bloc de départ (hypohydratation: 1315 ± 230 ; euhydratation: 1322 ± 236 N, $p = 0.72$) n'ont pas différé entre les conditions. D'un point de vue pratique, l'effet de l'hypohydratation sur la performance de 100 m n'est pas clair puisque certains nageurs ont répondu favorablement (performance plus élevée que le coefficient de variation normale de la performance), d'autres défavorablement (performance moins élevée que le coefficient de variation normale de la performance) et d'autres de façon triviale (performance à l'intérieur du coefficient de variation normale de la performance). Par contre, l'impact de l'hypohydratation sur la production de force maximale sur le bloc de départ est trivial.

Pour conclure, nos résultats indiquent qu'une hypohydratation légère est peu susceptible d'entraver la production de force maximale des nageurs sur le bloc de départ. Cependant, on ne sait pas encore comment cela pourrait influencer sur la performance de 100 m nage libre chez les nageurs de compétition. En effet, certains nageurs ont obtenu de bien meilleurs résultats lorsqu'ils étaient euhydratés tandis que d'autres lorsqu'ils étaient hypohydratés. Ainsi, les entraîneurs devraient évaluer individuellement si effectuer une performance de 100 m libre, soit bien hydraté ou hypohydraté, convient le mieux à leurs spécialistes du 100 m nage libre.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	4
TABLE DES MATIÈRES	7
LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES.....	10
REMERCIEMENTS	12
1. PROBLÉMATIQUE	14
1.1. Introduction :.....	14
1.2. Types de Déshydratation	16
1.3. Niveau et recommandation d'hydratation pré-exercice chez les athlètes	17
1.4. Hypohydratation : Marqueurs du statut hydrique	18
1.4.1. L'osmolalité urinaire (Uosm).....	18
1.4.2. La gravité spécifique urinaire (USG).....	19
1.4.3. La couleur de l'urine (Ucol).....	19
1.4.4. La variation de la masse corporelle.....	20
1.5. Impact de l'hypohydratation sur la performance musculaire	21
1.5.1. Hypohydratation pré-exercice : Méthodes pour l'induire et leurs limites et effets confondants sur la performance	21
1.5.2. Effet de l'hypohydratation sur la force musculaire.....	25
1.5.3. Effet de l'hypohydratation sur l'endurance musculaire.....	26
1.5.4. Effet de l'hypohydratation sur la puissance musculaire	32
1.6. Hypohydratation : Mécanismes physiologiques affectant la performance	38
1.6.1. Mécanismes cardiovasculaires	38

1.6.2.	Mécanismes métaboliques	40
1.6.3.	Mécanismes tampons	40
1.6.4.	Mécanismes neuromusculaires	41
1.7	Importance du départ en natation	42
1.8.	Hydratation et performance en natation.....	42
1.9.	Impact de l'immersion en eau sur la régulation de l'équilibre hydrique.....	43
1.10.	Énoncé du problème et but de l'étude.....	45
1.11.	Hypothèses de recherche.....	45
2.	MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS.....	46
	Abstract.....	51
	Introduction	52
	Methods.....	53
	Results	57
	Discussion.....	58
	References	61
	Tables	64
	Figure legends.....	66
	Figures.....	67
3.	DISCUSSION.....	71
4.	CONCLUSION	74
5.	RÉFÉRENCES.....	75
	ANNEXE A	102
	ANNEXE B	103

ANNEXE C	104
ANNEXE D	105
ANNEXE E	107
ANNEXE F	108
ANNEXE G.....	110
ANNEXE H.....	111
ANNEXE I	112
ANNEXE J.....	113
ANNEXE K.....	114
ANNEXE L	129

LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES

Tableaux

Tableau 1. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur la force musculaire.

Tableau 2. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur l'endurance musculaire (activités >30 sec et <2 min).

Tableau 3. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur la puissance et la capacité anaérobie musculaire.

Tableau 4. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur la capacité de saut vertical.

Tableau 5. Résumé des études mesurant les effets de la déshydratation sur la puissance anaérobie pour les exercices intermittents à haute intensité.

Tableaux de l'article

Tableau 1 : Caractéristiques physiques, physiologiques et anthropométriques des participants.

Tableau 2 : Perception de la soif et de la chaleur immédiatement avant l'exposition à la chaleur, après l'exposition à la chaleur, 1h après l'exposition à la chaleur et avant les tests, en état euhydraté et hypohydraté.

Graphiques

Graphiques de l'article

Graphique 1 : Changements de la gravité spécifique (A) et de l'osmolalité (B) urinaire au cours des expériences. *: effet de temps; ¶: effet de condition. Pré-HE: avant exposition à la chaleur; Post-HE: après exposition à la chaleur. Les résultats sont exprimés en moyennes \pm SD.

Graphique 2 : Changements de la température rectale au cours des expériences. *: effet de temps; ¶: effet de condition. Pré-HE: avant exposition à la chaleur; Post-HE: après exposition à la chaleur. Les résultats sont exprimés en moyennes \pm SD.

Graphique 3 : Variations individuelles, en pourcentage, de la performance de 100 m nage libre entre la condition euhydratée et hypohydratée. Le carré noir représente la moyenne \pm SD. La zone grise représente le coefficient de variation pour la performance de 100 m nage libre. Les changements de performance au-dessus de la zone grise favorisent l'hypohydratation et l'euhydratation au-dessous de la zone grise.

Graphique 4 : Variations individuelles, en pourcentage, de la production de force maximale absolue entre les conditions euhydratées et hypohydratées. Le carré noir représente la moyenne \pm SD. La zone grise représente le coefficient de variation de la production de force maximale sur le bloc de départ. Les changements de performances au-dessus de la zone grise favorisent l'euhydratation et l'hypohydratation en dessous de la zone grise.

REMERCIEMENTS

À mon directeur de recherche **Éric Goulet**

Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance pour m'avoir choisi et avoir cru en moi pour travailler sur ce projet ambitieux et passionnant. Vos compétences, votre grande expérience, votre rigueur scientifique et votre disponibilité exceptionnelle m'ont été d'un grand apport pour ma formation et pour le développement de mes compétences scientifiques. Monsieur, je vous présente l'expression de ma gratitude la plus sincère pour l'aide que vous n'avez cessé de me fournir et pour l'ensemble de ce que vous m'avez appris que cela soit d'un point de vue scientifique, pédagogique ou personnel.

À mes collègues de laboratoire

Je tiens à vous remercier de votre aide précieuse et pour les nombreuses heures que vous m'avez accordées dans la réalisation de ce travail. Un grand merci pour votre gentillesse et pour votre disponibilité dans une période si chargée. Je vous souhaite une bonne continuation dans vos travaux. Veuillez trouver ici l'expression de ma grande estime.

Un grand merci à ma **femme**, à mes **parents** et à mon **frère** qui m'ont soutenu sans réserve durant mes études.

Je souhaite remercier tous les **enseignants** de la Faculté des sciences de l'activité physique, qui ont participé de près ou de loin à ma formation, en rendant mon parcours agréable.

Un grand merci à tous **les participants** pour avoir gentiment donné de leur temps lors de la participation aux différents protocoles expérimentaux. Sans eux, l'étude n'aurait pu être réalisée.

1. PROBLÉMATIQUE

1.1. Introduction :

Pour de nombreuses disciplines sportives comme le hockey, le soccer, l'haltérophilie ou la natation, par exemple, la capacité de performance repose, entre autres, sur la force et l'endurance musculaire ou la capacité à générer ou à maintenir une puissance optimale (Baker, Dougherty, Chow et Kenney, 2007a; Chapelle et al., 2019; Gutiérrez, Mesa, Ruiz, Chiroso et Castillo, 2003a; Judelson, Maresh, Farrell, et al., 2007a; Kraft et al., 2012; Nuccio, Barnes, Carter et Baker, 2017; Savoie et al., 2015a). Dans ces sports, la moindre perte d'efficacité musculaire peut nuire à la performance. Par conséquent, la connaissance des facteurs qui affectent la performance musculaire est essentielle pour les athlètes et les entraîneurs cherchant à optimiser les performances. L'hypohydratation est l'un de ces facteurs et plusieurs études ont examiné ses effets sur les performances musculaires aérobie et anaérobies.

Les effets de l'hypohydratation sur les performances musculaires aérobie (American College of Sports Medicine et al., 2007; Goulet, 2013) et anaérobies (Savoie et al., 2015) sont relativement bien établis. Par contre, plusieurs facteurs confondants peuvent altérer la réponse individuelle à l'impact de l'hypohydratation sur la performance musculaire anaérobie. Des recherches ont montré qu'une hypohydratation $\geq 3\%$ de la perte de poids corporel est le niveau critique pour diminuer les performances musculaires anaérobies (Del Coso, Estevez et Mora-Rodriguez, 2008; Gann, Green, O'Neal, Renfro et Andre, 2016). En effet, Gann et al., (2016) ont démontré une diminution significative de la force musculaire de 3% entre la condition hypohydratée et la condition contrôle chez femmes entraînées en résistance. Del Coso et al., (2008) ont observé une diminution significative de la force maximale isométrique après une perte de poids corporelle de 3.6% chez des cyclistes. Cependant, il y a eu des cas pour

lesquels les performances musculaires anaérobies ont été diminuées avec une perte de poids corporel < 3% (Edwards et al., 2007; Gutiérrez et al., 2003). Edwards et al. (2007) ont constaté qu'une déshydratation active de 2.4% et de 2.1% entraîne une diminution de la distance parcourue de 13% et de 15% par rapport à l'essai euhydraté lors de la réalisation du YO-YO test chez des joueurs de soccer. Gutierrez et al., (2003) ont observé, chez des joueuses de soccers, de volleyball et de handball, une diminution significative de 5.9% de la production de la force lors d'un test de saut de countermovement (CMJ). Même si ce niveau critique de perte de poids corporel est atteint, il est encore difficile de déterminer les effets exacts de l'hypohydratation sur les performances musculaires anaérobies (Yoshida, Takanishi, Nakai, Yorimoto et Morimoto, 2002). Dans les tests qui ont duré plus longtemps (≥ 30 sec), les chercheurs ont constaté que la déshydratation avait un effet négatif sur les performances (Edwards et al., 2007; Hayes et Morse, 2010a; Hillman et al., 2011; Jones et al., 2008a). Cependant, pour les tests qui ont duré moins de 15 sec, y compris le saut vertical debout et le test anaérobie Wingate de 15 sec, aucun changement de performance n'a été observé (Cheuvront, Carter, Haymes et Sawka, 2006; Hayes et Morse, 2010). Une raison de ces différences peut être liée au système d'énergie utilisé principalement pour chaque test, mais ceci reste à confirmer.

L'impact de l'hypohydratation sur les performances musculaires a été évalué pour les sprints répétés (Gann et al., 2016), la détente verticale (Cheuvront et al., 2010; Gutiérrez, Mesa, Ruiz, Chiroso et Castillo, 2003; Hayes et Morse, 2010; Judelson, Maresh, Farrell, et al., 2007), les exercices en résistance (Hayes et Morse, 2010; Judelson, Maresh, Farrell, et al., 2007; Kraft et al., 2010), les exercices en endurance musculaire (Caterisano et al, 1988; Watson et al., 2005), ainsi que sur la force, la puissance et l'endurance musculaire de haute intensité chez certaines disciplines sportives pratiquées en équipe (Baker, Dougherty, Chow et Kenney, 2007b; Chapelle et al., 2019; Hoffman, Stavsky et Falk, 1995a; MacLeod et Sunderland, 2012; Nuccio et al., 2017; Smith, Dyson, Hale, Harrison et McManus, 2000). La plupart de ces études

décrivent l'effet de l'hypohydratation sur les activités terrestres; par contre, aucune recherche n'a été consacrée sur les sports aquatiques comme la natation.

La natation est un sport encore peu étudié, comparativement à la course à pied ou le vélo, par exemple. Or, l'impact de l'hypohydratation sur la performance en natation lors d'un sprint de 100 m style libre demeure encore inconnu. Il a été démontré que, de façon relativement fréquente, les nageurs se présentent à la piscine avec une légère hypohydratation et qu'ils la maintiennent tout au long de l'entraînement, même en ayant accès à l'eau (Adams et al., 2016). De plus, en période de compétition, il arrive que plusieurs étapes se succèdent rapidement, comme la fin de l'échauffement, la période pour se changer pour mettre la combinaison et finalement l'épreuve. Or, ces périodes ne permettent pas aux athlètes de s'hydrater de façon optimale pour leur épreuve sportive. Ainsi, il apparaît que les nageurs peuvent fréquemment s'entraîner et compétitionner dans un état d'hypohydratation.

Une récente méta-analyse publiée par notre laboratoire de recherche démontre que l'hypohydratation diminue la force, la puissance et l'endurance musculaire de haute intensité (Savoie et al., 2015). Sur la base de cette observation, il est raisonnable de croire qu'un état d'hypohydratation pourrait affecter négativement la performance lors d'un 100 m style libre. Ainsi, nous nous questionnons à savoir si l'état d'hypohydratation dans lequel les nageurs arrivent à la piscine pourrait contribuer à diminuer la performance en natation.

1.2. Types de Déshydratation

L'« euhydratation » est l'état normal du contenu hydrique total de l'organisme, qui peut subir de faibles variations (Cheuvront et Sawka, 2005). La déshydratation est le processus par lequel il y a une perte dynamique d'eau corporelle, tandis que l'hypohydratation, la résultante de la déshydratation, fait référence à un état

de déficit d'eau dans le corps (Douglas J. Casa et al., 2015). L'hypohydratation peut être hypertonique, hypotonique ou isotonique, selon la perte relative en eau et en liquides extracellulaires (Grandjean, Reimers et Buyckx, 2003; Medicine, 2004).

L'hypohydratation caractérisant les athlètes avant un exercice est généralement de type hypertonique, et est associée à une augmentation de l'osmolalité plasmatique (> 300 mOsmol/kg) (Weinberg et Minaker, 1995) due à une perte d'eau relativement importante combinée à une faible perte de sodium (concentration plasmatique de sodium > 145 mmol/L).

1.3. Niveau et recommandation d'hydratation pré-exercice chez les athlètes

Il est important de s'assurer d'être bien hydraté avant l'exercice (Goulet, 2012). Néanmoins, il a été démontré que la majorité des athlètes débutent un entraînement ou une compétition en état d'hypohydratation (Maughan et al., 2007). En effet, des recherches portant sur l'état d'hydratation des athlètes adolescents ou adultes lors des séances d'entraînement ont conclu qu'un grand nombre de participants sont hypohydratés au réveil (Chapelle et al., 2019; Stookey, 2005). De plus, leur état d'hydratation ne s'améliore pas de manière significative au fil de la journée (Chapelle et al., 2019; S. A. Kavouras et al., 2012; Nuccio et al., 2017). Adams et al. (2016) ont montré que plus de 75% des nageurs arrivent à un entraînement en état d'hypohydratation, et restent hypohydratés tout au long de ce dernier. Ces observations sont importantes, car la recherche portant sur d'autres activités, comme la course et le cyclisme, a démontré une diminution de la capacité et de la puissance musculaire en situation d'hypohydratation pré-exercice (Savoie et al., 2015).

En général, les individus qui ont un bon état hydrique sont ceux qui se nourrissent et boivent correctement pendant la journée (Campbell, 2004). Pour pallier les pertes hydriques le jour de l'entraînement ou de compétition il faut que les athlètes

boivent suffisamment pour compenser ce qu'ils perdent (McDermott et al., 2017). Les athlètes peuvent s'assurer qu'ils commencent leur entraînement ou compétition dans un état euhydraté en se fiant à leur sensation de soif, qui doit être maintenue aussi faible que possible au cours des dernières heures précédant l'activité physique, en buvant des liquides à volonté (Douglas J. Casa et al., 2010). Pour la même raison, l'American College of Sports Medicine (ACSM, 2009) a établi des recommandations afin d'atteindre un état euhydraté et d'éviter l'état d'hypohydratation pré-exercice. En effet, elle recommande de consommer une quantité de liquide équivalente à 5-10 mL / kg de poids corporel dans les 2 à 4 heures avant un exercice (American Dietetic Association et al., 2009), et de s'assurer que le poids corporel se situe à moins de 1% du poids corporel initial de l'athlète bien hydraté (Armstrong et al., 1998). Un tel niveau d'hydratation avant l'exercice devrait garantir le maintien d'un niveau normal d'osmolalité plasmatique, minimisant ainsi la soif pré-exercice (Douglas J. Casa et al., 2010).

1.4. Hypohydratation : Marqueurs du statut hydrique

L'hydratation peut être contrôlée et estimée de différentes manières, avec des méthodes peu invasives (prises de sang) à non invasives (échantillon d'urine et poids corporel). L'osmolalité plasmatique et l'hématocrite sont des indicateurs sanguins permettant de bien évaluer l'équilibre hydrique de sujets pratiquant une activité physique. Cependant, ces mesures sont difficiles à utiliser sur le terrain et requièrent une ponction sanguine. Ainsi, beaucoup de chercheurs utilisent des indicateurs urinaires comme marqueurs du statut hydrique en conditions de terrain (Arnaoutis et al., 2018; Cheuvront, Kenefick et Zambraski, 2015; Hew-Butler et al., 2018; Oppliger et al., 2005).

1.4.1. L'osmolalité urinaire (Uosm)

L'osmolalité urinaire peut être déterminée à partir d'un osmomètre (Shirreffs et Maughan, 1998). Des valeurs inférieures à 700 mOsmol / kg témoignent d'un état d'euhydration tandis que des valeurs supérieures ou égales à 900 mOsmol / kg indiquent un état d'hypohydration (Shirreffs et Maughan, 1998). Il est à noter que la première miction du matin donne le meilleur reflet du statut hydrique. En effet, suite à l'endormissement pendant la nuit, les facteurs dits parasites (apport hydrique et alimentaire) sont neutralisés et les compartiments liquidiens sont équilibrés (Armstrong et al., 2014; Shirreffs et Maughan, 1998; Hamouti et al., 2010; Cheuvront et Sawka, 2005). Physiologiquement, l'osmolalité urinaire est considérée comme la mesure la plus précise de la concentration de l'urine (Chadha, Garg et Alon, 2001).

1.4.2. La gravité spécifique urinaire (USG)

La gravité spécifique urinaire reflète le poids total des solutés retrouvés dans l'urine. Il s'agit de la densité d'un échantillon d'urine par rapport à la masse volumique de l'eau pure (Armstrong, 2005; Stuempfle et Drury, 2003). Elle est simple à mesurer et non-invasive, et elle figure comme la méthode favorite utilisée par les entraîneurs et nutritionnistes pour contrôler le statut hydrique des sportifs. Elle peut être mesurée par trois méthodes différentes sur le terrain ; hygrométrie, réfractométrie et bandelettes réactives (Ersoy, Ersoy et Kutlu, 2016). Une gravité spécifique urinaire supérieure à 1.020 g / mL indique un état d'hypohydration, tandis qu'une valeur inférieure ou égale à 1.020 g / mL témoigne un état d'euhydration (Douglas J. Casa et al., 2015; Michael N. Sawka et Noakes, 2007).

1.4.3. La couleur de l'urine (Ucol)

La couleur de l'urine (Ucol) est l'observation la plus simple et la moins invasive qui puisse être utilisée pour surveiller l'état d'hydratation. En raison des difficultés à utiliser plusieurs marqueurs du statut hydrique, Armstrong et al. (1994)

ont développé la charte de la couleur d'urine. Avant chaque compétition ou entraînement, les athlètes fournissent un échantillon d'urine dans un récipient transparent. La couleur de l'urine peut être évaluée visuellement en se référant à une échelle de couleurs (Gamme de couleurs 1-7 ; où $U_{col} < 3$ « urine jaune très pâle » reflète un bon niveau d'hydratation, et $U_{col} = 3-7$ représente un niveau euhydraté avec une couleur « jaune pâle », alors qu'une couleur « brun jaunâtre très foncé » est indicative d'un état de hypohydratation avec une $U_{col} > 7$) (Armstrong et al., 1994).

Armstrong et al. (1998) ont étudié la relation entre U_{col} et d'autres indicateurs urinaires (c.-à-d., la densité urinaire et l'osmolalité urinaire). Ils ont montré une forte corrélation entre U_{osm} , U_{SG} et U_{col} , et ont conclu aussi que U_{col} peut être utilisée dans le milieu sportif pour évaluer le statut hydrique quand une précision élevée n'est pas nécessaire (Armstrong et al., 2010; Kavouras et al., 2016).

Bien que U_{col} puisse être influencée par le contenu du régime alimentaire ou certains traitements médicaux (Maughan et Shirreffs, 2008), elle peut néanmoins être utilisée dans une certaine mesure pour contrôler l'état d'hydratation (Adams et al., 2016b; Maresh et al., 2001). De même, U_{col} peut changer si l'évaluation n'est pas effectuée immédiatement après la saisie de l'échantillon d'urine (Adams et al., 2017).

1.4.4. La variation de la masse corporelle

La variation de la masse corporelle avant et après l'exercice physique peut être utilisée pour évaluer le statut hydrique du sportif en laboratoire (Goulet et al., 2008) et sur le terrain (Harvey et al., 2008). En effet, toute variation de la masse corporelle à court terme après un exercice par exemple est généralement due à des changements au niveau du contenu hydrique total (Cheuvront et Kenefick, 2014). Il convient de noter que des corrections doivent être appliquées pour toute consommation de liquides, ou perte du liquide du au besoin d'uriner ou d'éliminer les déchets (entre les deux mesures)

lors de la mesure des changements du statut hydrique (Ronald J. Maughan et Shirreffs, 2008).

La variation moyenne de la masse corporelle d'un jour à l'autre est de ~1% (Cheuvront et al, 2004). En effet, Cheuvront et al., (2004) indiquent que 3 mesures consécutives de la masse corporelle fournissent une évaluation précise de la variabilité quotidienne de la masse corporelle, qui est inférieure à 1% pour les hommes actifs. Cette étude apporte la preuve que le poids corporel quotidien est un paramètre physiologique suffisamment stable pour la surveillance quotidienne de l'équilibre hydrique. Cette information est importante, car une réduction excessive de la masse corporelle indique un état d'hypohydratation (Pelly, Slater et King, 2016). La détermination d'une masse corporelle de base est nécessaire, mais elle ne devrait pas être utilisée comme une référence pendant plus que deux semaines (Cheuvront et al., 2004). Cette méthode est précise (D. J. Casa et al., 2000; Vescovi et Watson, 2018), pratique et ne nécessite peu d'expertise technique. Vescovi et al., (2019) ont montré que la variation intra individuelle de la masse corporelle matinale était très faible (CV de < 1%) chez les joueurs de hockey sur gazon élites pendant un camp d'entraînement. La faible variabilité a été identifiée après 3 jours, sans changement à 6 ou 8 jours. Ces données peuvent être utilisées pour calculer le moindre changement utile pour aider à surveiller l'état d'hydratation. De plus, Baker et al., 2009 ont montré que l'utilisation des changements de masse corporelle chez les hommes et les femmes est une méthode fiable et précise pour évaluer le changement de l'eau corporelle totale.

1.5. Impact de l'hypohydratation sur la performance musculaire

1.5.1. Hypohydratation pré-exercice : Méthodes pour l'induire et leurs limites et effets confondants sur la performance

En recherche en physiologie de l'effort, l'état d'hypohydratation pré-exercice peut être atteint de plusieurs manières, soit par une stratégie de déshydratation passive : par exposition à la chaleur (Bigard et al., 2001; Schoffstall et al., 2001; Gutiérrez et al., 2003; Cheuvront et al., 2006; Kraft et al., 2011; Naharudin et Yusof, 2013; Goulet et al., 2018), par restriction hydrique (Evetovich et al., 2002; Judelson, Maresh, Farrell, et al., 2007) ou par l'administration de diurétiques (Watson et al., 2005). Il est également possible d'utiliser une stratégie de déshydratation active induite directement par l'activité physique ou par l'exercice en plus d'une exposition à la chaleur (Bowtell, Avenell, Hunter et Mileva, 2013; Cheuvront et al., 2010; Hayes et Morse, 2010; Jones, Cleary, Lopez, Zuri et Lopez, 2008; Scott J. Montain et Tharion, 2010; Périard, Tammam et Thompson, 2012; Stewart, Whyte, Cannon, Wickham et Marino, 2014). Au moins une heure doit séparer la fin du protocole de déshydratation et le test, pour permettre à la température centrale de se stabiliser et à la fatigue de se dissiper (Bowtell et al., 2013; Cheuvront et al., 2006; Jones et al., 2008). La restriction hydrique sans exercice est considérée comme une méthode efficace pour produire une hypohydratation si ≥ 8 h sépare la procédure de déshydratation des tests de force musculaire, de saut vertical ou de sprint intermittent (Savoie, Kenefick, Ely, Cheuvront, & Goulet, 2015). Ainsi, les effets négatifs sur la puissance, la force et l'endurance musculaire causés par l'exercice (Judelson, Maresh, Farrell, et al., 2007; Webster et al., 1990) ou le stress thermique (Cheuvront et al., 2010; Jones et al., 2008) sont neutralisés.

La nature du protocole de déshydratation utilisée est un facteur qui a une influence sur les changements de la puissance, de la force et de l'endurance musculaire. En effet, une fois le niveau d'hypohydratation et la méthode pour l'induire contrôlés, l'hypohydratation active diminue la force, la puissance et l'endurance musculaire, d'environ 2.3 fois comparativement à l'hypohydratation passive (Savoie et al., 2015). L'utilisation de modes de déshydratation active (déshydratation induite par l'exercice) ou de déshydratation passive (sauna) le même jour que le test peut avoir une influence

négalive sur la performance musculaire (Savoie et al., 2015). Schoffstall et al., (2001) ont observé une diminution significative de 5.6% ($p = 0.0023$) de la force des membres supérieurs lors d'un test de 1RM de développé couché chez des haltérophiles entraînés, après une déshydratation passive de 1.7%. De plus, Hayes, Morse (2010) ont enregistré une diminution significative (6.5–8.3%) de la force maximale isométrique lors d'un test d'extension du genou, après une déshydratation active de 1.0%, 1.9%, 2.6%, 3.3% et 3.9% chez hommes actifs. Dans une revue systématique, Judelson et al. (2007) démontrent que la fatigue qui accompagne l'hypohydratation active est suffisamment importante pour avoir un impact considérable et confondre les résultats de la recherche. Par conséquent, une grande prudence doit être prise lors de l'interprétation des résultats d'études qui ont utilisé des protocoles d'hypohydratation active pour déshydrater les participants avant les tests. De la même manière, l'exposition à la chaleur utilisée lors de la déshydratation active et passive pourrait entraîner une diminution des performances dépassant les effets potentiels de la déshydratation (Savoie, et al., 2015).

Afin de tenter d'isoler les effets de la déshydratation, les protocoles doivent être passifs et menés la veille du test (prévoir une période de repos d'une nuit qui sépare la fin du protocole de déshydratation et le test) afin de permettre aux participants de dormir toute la nuit, ce qui permet de réduire considérablement les effets des protocoles de déshydratation sur les performances musculaires, à savoir la stabilisation de la température centrale et la dissipation de la fatigue (Kraft et al., 2012; Savoie et al., 2015).

Des recherches ont montré que l'exposition à la chaleur pouvait expliquer une partie de la diminution de la performance musculaire lors de sprints répétés (Kraft et al., 2011). Par contre, d'autres n'ont signalé aucune différence significative ($P > 0.05$) entre la condition hypohydratée et la condition euhydratée en termes d'endurance musculaire des extenseurs du genou et des fléchisseurs du coude (Greiwe et al., 1998). Une explication probable de ces résultats est que l'hyperthermie n'est pas considérée

comme un facteur de confusion si ≥ 1 heure sépare la fin du protocole de déshydratation du test (Bowtell et al., 2013; Cheuvront et al., 2006; Jones et al., 2008). En dépit de ces résultats, il faut garantir que la température centrale revienne à la valeur de référence (± 0.25 °C) entre les conditions d'hydratation au moment des tests. Cela permet d'isoler les effets du protocole de déshydratation sur les performances musculaires (Savoie et al., 2015).

L'état d'entraînement est une autre variable susceptible d'avoir un impact significatif sur les modifications de la performance musculaire liées à l'hypohydratation. En fait, Savoie et al. (2015) ont observé des altérations de l'endurance, de la force et de la puissance musculaire, ainsi que de la capacité anaérobie d'environ 1.75 fois supérieure chez les personnes non entraînées comparativement à celles entraînées. Ceci est une explication potentielle de la variabilité interindividuelle. Les personnes non entraînées semblent être plus exposées aux effets néfastes de la déshydratation sur les performances que les personnes entraînées. De plus, les effets négatifs de la déshydratation semblent être plus prononcés chez les participants non entraînés et entraînés en anaérobie que chez les participants entraînés en aérobie (Kraft et al., 2012; Savoie et al., 2015).

Un autre élément pouvant potentiellement expliquer une partie des réductions de la performance musculaire associées à l'hypohydratation est l'effet placebo (ou nocebo) négatif (Beedie et Foad, 2009). En effet, il est impossible d'aveugler totalement les participants par une hypohydratation obtenue par diaphorèse (par exemple, exposition à la chaleur, exercice ou les deux), par diurèse (par exemple usage diurétique) ou par réhydratation orale. Considérant qu'il est généralement admis que l'hypohydratation a des effets néfastes sur les performances physiques ainsi que sur plusieurs fonctions physiologiques (American College of Sports Medicine, Sawka, et al., 2007), et que ce concept a été largement diffusé dans la population en général, la

possibilité qu'un effet nocebo explique une part substantielle des modifications de la performance musculaire qui accompagnent l'hypohydratation ne peut pas être écartée.

1.5.2. Effet de l'hypohydratation sur la force musculaire

Les études évaluant la force musculaire ont utilisé des contractions statiques volontaires maximales et des contractions musculaires dynamiques à la fois pour les membres inférieurs et supérieurs (Tableau 1). Il a été démontré que l'hypohydratation a un impact négatif sur la force musculaire. Globalement, la force musculaire diminue en moyenne de 6% avec l'hypohydratation, plus précisément, de 4% pour le haut du corps et de 6% pour le bas du corps (Savoie et al., 2015).

Plusieurs études ont utilisé plus qu'une procédure méthodologique pour évaluer l'impact de l'hypohydratation sur une variable de performance musculaire donnée. Par exemple, Evetovich et al., (2002) ont examiné l'effet de l'hypohydratation sur la force musculaire à l'aide de tests statiques et isocinétiques du biceps brachial en état euhydraté et déshydraté. De plus, Schoffstall et al., (2001) ont observé une diminution de 5.6% du nombre de répétitions maximales (1RM) aux développés couchés suite à une déshydratation passive dans un sauna chez des haltérophiles entraînés, bien que le niveau de déshydratation était inférieur de 1.7% par rapport au niveau critique de diminution de la performance musculaire (perte de masse corporelle $\geq 3\%$). L'impact de l'hypohydratation sur les performances en force musculaire est d'une importance pratique considérable chez des sédentaires ou chez des sujets entraînés, comme le montre le tableau 1 (Judelson et al., 2007; Kraft et al., 2012; Savoie et al., 2015). Ces effets négatifs ont toutefois été annulés lorsque les participants ont eu deux heures pour se reposer et se réhydrater. Il est possible que les diminutions observées dans le 1RM développé couché soient dues aux effets résiduels de l'exposition à la chaleur résultante du protocole de déshydratation induite par le sauna. Il est vraisemblable qu'avec un temps de récupération suffisant après le protocole de déshydratation qu'aucune

différence de performance n'aurait été observée. Des recherches supplémentaires, tenant compte des facteurs confondants possibles sont nécessaires pour déterminer les effets de l'hypohydratation sur la force musculaire.

1.5.3. Effet de l'hypohydratation sur l'endurance musculaire

Le tableau 2 résume les études mesurant les effets de l'hypohydratation sur l'endurance musculaire de haute intensité. Les protocoles utilisés pour évaluer l'endurance à haute intensité mesurent généralement le travail total (nombre de répétitions) ou la puissance moyenne maintenue pendant 30 à 120 sec d'activités répétées (développé couché, rangées, tractions, extensions de coude, extensions des genou, flexions du genoux, abductions d'épaule, adductions d'épaule et / ou redressements assis). Il a été démontré que l'hypohydratation a un impact négatif sur l'endurance musculaire de haute intensité (Bigard et al., 2001; Kraft et al., 2010). Généralement, l'endurance musculaire diminue de 8% avec l'hypohydratation, autant pour le haut du corps que pour le bas du corps (Savoie et al., 2015).

Deux études ont comparé l'effet du statut hydrique sur l'endurance musculaire (Judelson et al., 2007; Kraft et al., 2010). Dans ces études, les participants entraînés en résistance ont effectué six séries de squats dans trois conditions (euhydraté et hypohydraté à 2.5% et à 5% par l'exercice dans une chambre environnementale). La performance a diminué au cours des deux conditions d'hypohydratation par rapport à la condition euhydratation. De plus, une baisse de performance de squat (6 x 10 à 80% de 1RM) plus importante de 5% a été observée dans la condition hypohydratée comparativement aux deux autres conditions, soit euhydratée et hypohydratée à 2.5% (Judelson, Maresh, Anderson, et al., 2007). De même, Kraft et al., (2010) ont constaté qu'une hypohydratation passive (3%), par immersion en eau chaude, nuisait à la performance en endurance musculaire par rapport à un essai euhydraté, chez des sujets

entraînés en résistance. Les participants ont effectué 15% moins de répétitions totales lorsqu'ils étaient déshydratés (Kraft et al., 2010). Cette diminution de la performance d'endurance musculaire est potentiellement, au moins en partie, due à la dépendance accrue des voies aérobiques au cours des exercices musculaires (Kraft et al., 2012).

Tableau 1. Résumé des études mesurant les effets de de l'hypohydratation sur la force musculaire.

Références	Caractéristiques des participants	Protocole de déshydratation % de déshydratation (CC/HYPO)	Tests	Résultats
Gann et al (2015)	10 femmes entraînées en résistance 22 ans	-Bain chaud (40° C) - 0.0/-3.0	-Membre supérieur : développé couché -Membre inférieur : Presse à cuisse	-Diminution significative de force la musculaire entre HYPO/CC (42,7 ± 14,5 kg ; 44,1 ± 13,9 kg ; p < 0.04) -Aucune différence significative
Stewart et al. (2014)	7 hommes actifs 23 ans	-EX : Pédaler à 50-65% de la PMA et EC : 37°C ; 65% HR ; durée 2h -0.2/-3.8	Membre inférieur : CSVM (extension du genoux)	Aucune différence significative
Bowtell et al. (2013)	9 athlètes de taekwondo bien entraîné 23 ans	-EX ; Pédaler à 80% Fcmax et EC : 40°C, 50% RH ; durée 1.5h -0.4/-2.8	Membre inférieur : CSVM (extension du genoux)	Diminution significative (p<0.05) de la force maximale isométrique (-15.3%) et de la force excentrique isocinétique (-24.8%)
Minshull, James (2013)	10 hommes actifs 24 ans	-Restriction fluide ; durée 24h -0.1/-2.1	Membre inférieur : CSVM (extension du genoux)	Aucune différence significative
Periard et al. (2012)	10 joueurs de sport d'équipe en bonne santé, entraîner en aérobie et en anaérobie 27 ans	-EX : Marche sur tapis roulant à 5.5 km/h et 5% pente et EC : 35°C ; 60% RH ; durée 2.5h -0.0/-3.2 -0.0/-2.4	-Membre supérieur : FP -Membre inférieur : CSVM (extension du genoux)	-Aucune différence significative -Aucune différence significative
Hayes, Morse (2010)	12 hommes modérément actifs 21 ans	-EX : Course sur tapis roulant à 80% Fcmax et EC : 48°C : 50% HR -0.0/-1.0/-1.9/-2.6/-3.3/-3.9	Membre inférieur : CSVM (extension du genoux) à 130°/s et 30°/s	-Diminution significative de la force max isométrique à tous les niveau (6.5–8.3%). -Diminution significative à un niveau > 2.6% à 30°/s (8.2–12.8%) -Aucune différence significative à tous les niveaux à 130°/s
Del Coso et al. (2008)	7 cyclistes hommes entraînés en endurance 27 ans	- EX : Pédaler à 63% de VO2max) et EC : 36°C, 29% HR ; durée 2h	Membre inférieur : CSVM (extension du genoux)	Diminution significative de la force max isométrique (11% ; P < 0.05)

		-0.5/-3.6		
Judelson et al. (2007)	6 hommes en bonne santé et entraîné en résistance 23ans	-EX : Marche sur tapis roulant à 5.4 km/h et 3% de pente et EC : 36.5°C, 45% HR, durée : jusqu'à perte de 5% -0.2/-2.4 -0.2/-4.8	Membre inférieur : squat statique	-Diminution significative (2.4%) séries 2-3 -Diminution significative (4.8%) séries 2-5
Gutierrez et al. (2003)	12 joueurs (6 sexes masculins) et (6 sexes féminins) de soccers, natation, volleyball, handball. 22 ans (masculins)/24.5 ans (féminins) :	-EC : 70°C, durée 1h -0.0/-1.8 (sexe masculin) -0.0/-1.4 (sexe féminin)	Membre supérieur : FP	Aucune différence significative
Evetovich et al. (2002)	10 (6 sexes masculins) et (4 sexes féminins) 22.5 ans	-Restriction fluide ; durée 48h -0.3/-2.9	Membre supérieur : CSVM (flexion du coude)	Aucune différence significative
Ftaïti et al. (2001)	6 Coureurs entraînés 27ans	-EX : Course avec manteau imperméable à 65% VMA ; durée 0.6h -0.0/-2.0	Membre inférieur : CSVM (extension du genoux)	Diminution significative de la force maximale isométrique (12% P < 0.01)
Schoffstall et al. (2001)	10 sujets entraînés en haltérophiles 25 ans	-EC : sauna à 60°C, durée 2h -0.0/-1.7	Membre supérieur : 1RM développer coucher	Diminution significative de 5.6% ; p = 0.0023

CC : condition contrôle ; CSVM : contraction statique volontaire maximale ; EC : exposition à la chaleur ; EX : exercice ; Fcmax : fréquence cardiaque maximal; FP: force de poigné; HYPO: condition hypohydraté; HR: Humidité relative;; RF: restriction de fluide; RM: répétition maximale ; VMA : vitesse maximale anaérobie.

Tableau 2. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur l'endurance musculaire (activités >30 sec et <2 min).

Références	Caractéristiques des participants	Protocole de déshydratation % de déshydratation (CC/HYPO)	Tests	Résultats
Gann et al 2015	10 femmes entraînées en résistance 22 ans	-Bain chaud (40° C) - 0.0/ -3.0	-Membre supérieur : développé couché (5 x75% 1RM) -Membre inférieur : Presse à cuisse (5 x75% 1RM)	-Aucune différence significative -Aucune différence significative
Kraft et al. (2010)	10 hommes en bonne santé et entrainer en résistance 23 ans	-EC :39°C ; Durée 2h - 0.0/ -3.0	-Membre supérieur : CRE (flexion du coude) à 12RM -Membre inférieur : CRE (Presse à cuisse) à 12RM	Diminution significative (tous les exercices ~ 15% en moyenne)
Montain, Tharion (2010)	14 (12 sexes masculins) et (2 sexes féminins) 22ans	-EX : Course lente et marche et EC : 38°C: 30% HR ; Durée 3h -0.0/ -4.0	Membre supérieur : CRE (Contractions isométriques répétées du pouce) à 50% de la puissance maximal anaérobie.	Aucune différence significative
Judelson et al. (2007)	6 hommes en bonne santé et entraînés en résistance 23 ans	-EX : Marche sur tapis roulant à 5.4 km/h et 3% de pente et EC : 36.5°C, 45% HR, durée : jusqu'à perte de 5% -0.2/-2.4 -0.2/-4.8	Membre inférieur : 6 x10 squat à 80% de RM	-Diminution significative (2.4%) séries 2-3 -Diminution significative (4.8%) séries 2-5
Gutierrez et al. (2003)	12 joueurs (6 sexes masculins) et (6 sexes féminins) de soccers, natation, volleyball, handball. 22 ans (masculins) /24.5 ans (féminins) :	-EC :70°C, durée 1h -0.0/-1.8 (sexe masculin) -0.0/-1.4 (sexe féminin)	Membre supérieur: CRE (exercice rameur) à 0.65 kg / kg	Aucune différence significative

Bigard et al. (2001)	11 hommes physiquement active et en bonne santé 22ans	-EC :82.5°C, 20% HR ; durée 1.5h -0.0/-3.0	-Membre inferieur: EMS (extension du genoux) \geq 25% -Membre inferieur: EMS (extension du genoux) \geq 70%	Diminution significative de l'endurance musculaire de 23% à 25% de la force maximal isométrique et de 17% à 70% de la force maximal isométrique
Ftaiti et al. (2001)	6 Coureurs entraînés 27ans	-EX : Course avec manteau imperméable à 65% VMA ; durée 0.6h -0.0/-2.0	Membre inferieur: 20 sec isocinétique maximale (240°/ses) extension du genoux	Diminution significative de l'endurance musculaire (P < 0.01)

CC: condition contrôle ; CRE: contraction répétée jusqu'à épuisement, EC: exposition à la chaleur; EX: exercice; HR: Humidité relative ; HYPO: condition hypohydraté;; EMS: endurance maximal statique; RM: répétition maximale ; VMA : vitesse maximale anaérobie.

1.5.4. Effet de l'hypohydratation sur la puissance musculaire

Le tableau 3 résume les études mesurant les effets de l'hypohydratation sur la puissance musculaire. La puissance musculaire est une mesure utile de la performance et de nombreuses études l'ont utilisée pour déterminer l'effet direct de différents niveaux d'hypohydratation sur la performance musculaire. Certains n'ont signalé aucune différence de puissance musculaire résultant d'une hypohydratation à différents niveaux (Cheuvront et Kenefick, 2014; Gutiérrez et al., 2003; Watson et al., 2005; Yoshida, Takanishi, Nakai, Yorimoto et Morimoto, 2002), tandis que d'autres ont signalé des baisses importantes (Jones et al., 2008; Webster, Yoshida et al., 2002). Malgré les variations du niveau de déshydratation, du type du test et du mode de mesure de la puissance, un examen attentif révèle deux tendances dans les études qui ne révèlent aucune différence de puissance. Soit le niveau d'hypohydratation était faible comme dans Yoshida et al. (2002), qui n'ont trouvé aucune différence de puissance maximale anaérobie à des niveaux de déshydratation inférieurs (2.5%) mais ont signalé des diminutions significatives de puissance maximale anaérobie à des niveaux d'hypohydratation plus élevés (3.9%), ou à cause de la durée de protocole et le test de la puissance mesurée pendant 30 s ou moins (Cheuvront, Carter, Haymes et Sawka, 2006; Gutiérrez, Mesa, Ruiz, Chiroso et Castillo, 2003; Hayes et Morse, 2010; Jacobs, 1980; Judelson, Maresh, Anderson, et al., 2007; Yoshida et al., 2002). Pour les tests d'une durée inférieure à 15 s, y compris le saut vertical debout et le test anaérobie Wingate de 15 s, aucun changement de performance n'a été observé. Cependant, dans les tests qui ont duré plus longtemps (≥ 30 s), les chercheurs ont constaté que l'hypohydratation avait un effet négatif sur la performance. Une des raisons de ces différences peut être liée au système énergétique principalement utilisé pour chaque test (Kraft et al., 2010).

1.5.4.1. Tests anaérobies Wingate

Les tests anaérobies Wingate sont utilisés afin de quantifier la puissance musculaire. Cheuvront et al. (2006) ont examiné les effets de l'hypohydratation sur la performance musculaire du test Wingate de 15 sec chez des sujets sains et physiquement actifs. Le but était de réaliser quatre tests anaérobies Wingate de 15 sec en état d'hypohydratation (2.7%) ou euhydraté immédiatement et après 5 min, 30 min et 60 min de l'exposition à la chaleur. Les chercheurs n'ont observé aucune différence significative entre le pic de puissance et la puissance moyenne dans les deux groupes (Cheuvront et al., 2006). De même, Jacobs et al., (1980) n'ont signalé aucune différence significative de pic de puissance et de la puissance moyenne lors d'un test Wingate de 30 sec à des taux d'hypohydratation atteignant 4%, induits par une exposition à la chaleur passive chez des lutteurs universitaires. Inversement, Webster et al., (1990), utilisant un protocole d'exercice similaire à celui de (Jacobs, 1980) à l'exception du fait que la puissance délivrée a été mesurée pendant 40 sec, ont constaté une diminution significative de la puissance maximale anaérobie (21.5%). Ils ont également constaté une diminution significative de la capacité anaérobie (9.8%) lors d'un test Wingate pour le haut du corps, pendant 40 sec après une déshydratation active de 5% chez des lutteurs universitaires (exercice avec exposition à la chaleur la veille au soir). La divergence des performances peut être expliquée en partie par la composante temporelle qui influence les effets de la déshydratation sur les performances anaérobies.

Tableau 3. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur la puissance et la capacité anaérobie musculaire.

Références	Caractéristiques des participants	Protocole de déshydratation % de déshydratation (CC/HYPO)	Tests	Résultats
Naharudin, Yusof (2013)	32 cyclistes 23 ans	-EC : 40°C, 20% HR -0.0/-1.8/-2.8/-4.0	PMA: 30-sec WanT CA: 30-sec WanT	Aucune différence significative
Jones et al. (2008)	7 hommes sains et physiquement actif 27 ans	-EC : 33.1°C : 55.1% HR et EX : Marche sur tapis à 60% F _{cmax} ; durée 1.1h -0.0/-3.1	-PMA: 30-sec WanT -CA: 30-sec WanT	-Diminution significative de la puissance moyenne (19.2%) -Diminution significative de pic de la puissance (18.36%)
Cheuvront et al. (2006)	8 hommes sains et physiquement actifs 28 ans	-EC : 45°C, 50% HR ; durée 3h -0.1/-2.7	-PMA: 15-sec WanT -CA: 15-sec WanT	Aucune différence significative
Webster et al. (1990)	7 lutteurs universitaires 19.7 ans	-EX : Entraînement lutte et exercice dans un costume caoutchouté ; durée 3h -0.0/-4.9	-PMA: 40-sec WanT -CA: 40-sec WanT	-Diminution significative de la puissance maximale anaérobie (21.5%) -Diminution significative de la puissance totale (9.8%)
Jacobs (1980)	11 lutteurs universitaires	-EC : 56°C : 15% HR ; durée : 2.1h -0.0/-2.0/-4.1/-5.0	-PMA: 30-sec WanT -CA: 30-sec WanT	Aucune différence significative

CA: test de la capacité anaérobie; CC: condition contrôle; EC: exposition à la chaleur ; EX: exercice; F_{cmax}: fréquence cardiaque maximal; HR: Humidité relative ; HYPO: condition hypohydraté; PMA: test de la puissance maximale anaérobie; WanT: test Wingate pour les membres inférieur

1.5.4.2. Saut vertical

La hauteur du saut vertical est couramment utilisée comme indicateur de la puissance musculaire. Plusieurs études (Tableau 4) ont exploré l'effet de l'hypohydratation sur la capacité du saut entre les essais hypohydratés et euhydratés. Aucun changement significatif n'a été observé entre les essais (Hayes et Morse, 2010; Judelson, Maresh, Farrell, et al., 2007; Watson et al., 2005). Cheuvront et al., (2010) ont toutefois adopté une approche différente. Les sujets (sains et physiquement actifs) ont été testés dans des états euhydratés et hypohydratés. Dans l'essai hypohydraté, les sujets ont effectué des sauts verticaux, avec et sans gilet lesté, afin de simuler la perte de masse résultant du protocole de déshydratation, les résultats étaient une réduction de 4% de la hauteur de saut vertical avec le gilet lesté. Comme prévu, les sauts effectués sans le gilet lesté n'ont montré aucune différence significative par rapport à l'essai euhydraté. Cette réduction de puissance est toutefois compensée par la perte de masse corporelle (Cheuvront et al., 2010).

1.5.4.3. Performance en sprint

Théoriquement, de la même manière que la performance en saut vertical, les performances en sprint pourraient potentiellement être améliorées quand les athlètes sont déshydratés (Tableau 5). Davis et al., (2015) ont testé les effets de l'hypohydratation (3%) sur des performances de sprints répétés sur 30 mètres après une déshydratation active (exercice avec une exposition à la chaleur) chez des joueurs de baseball collégiaux. Aucune différence significative n'a été constatée pour le premier sprint, mais les temps de sprint étaient significativement plus lents pour les répétitions deux (4.87 ± 0.29 vs. 5.03 ± 0.33 sec; $p = 0.01$) et trois (4.91 ± 0.29 vs. 5.12 ± 0.44 sec; $p = 0.02$). Cette étude soutient les travaux antérieurs sur les sprints répétés montrant une altération des performances en état d'hypohydratation (Baker et al. 2007., Kraft et al. 2011, Maxwell et al. 1999, Mohr et al., 2010). Maxwell et al., (1999) ont

montré une réduction significative du temps jusqu'à l'épuisement de 3.9% lors de l'exécution des sprints intermittents de 20 sec sur tapis roulant lorsqu'ils sont déshydratés de 1.5% chez des étudiants masculins en bonne santé. Mohr et al. (2010) ont également signalé un temps de sprint moyen plus lent de 2.6% pendant 3 x 30 mètres après un match de soccer en condition déshydratée de 2% par rapport à l'euhydration avant le match chez des joueurs de soccer de haut niveau. Baker et al. (2007) ont montré des altérations de la performance des sprints à 1 à 3% de déshydratation chez des joueurs de basketball. Cependant, d'autres études portant sur la déshydratation et les sprints répétés n'ont pas montré de baisse des performances (Gann et al., 2016; Smith et al., 2000; Yamashita, Ito, Nakano et Matsumoto, 2015). Gann et al. (2016) ont utilisé une déshydratation passive (3%) via un bain d'eau chaude la nuit précédant chaque essai de deux séries de 10 x 40 m sprints, hypohydraté (3%) et euhydraté. Les résultats ont montré que la performance moyenne du sprint n'était pas significativement différente entre les essais hypohydratés (de 3%) et euhydratés chez des athlètes entraînés en anaérobie (participant à des exercices anaérobies au moins 3 fois par semaine pendant au moins 3 semaines) et des athlètes masculins de la division II (soccer, basket-ball et football). Cependant, lorsque les données de chaque participant ont été prises en compte, un effet plus important a été observé. Ainsi, une diminution de ≥ 0.1 sec du temps de sprint d'une répétition a été observée chez 58% des participants et une diminution de ≥ 0.1 sec du temps de sprint de 25% des participants pour l'ensemble des répétitions. Ces résultats suggèrent qu'il est probable qu'en raison de variabilité interindividuelle, les moyennes du groupe ont masqué les effets observés chez 58% et 25% des participants. Ces résultats suggèrent qu'il est probable qu'en raison de variabilité inter-individuelle, les moyennes du groupe ont masqué les effets observés chez de nombreux participants.

Tableau 4. Résumé des études mesurant les effets de l'hypohydratation sur la capacité de saut vertical.

Références	Caractéristiques des participants	Protocole de déshydratation % de déshydratation (CC/HYPO)	Tests	Résultats
Gann et al. (2015)	10 femmes entraînées en résistance 22 ans	-Bain chaud (40° C) - 0.0/ -3.0	SV	Aucune différence significative
Cheuvront et al. (2010)	15 hommes sains et physiquement actifs 24 ans	-EC : 50°C: 20% HR et EX : Marche sur tapis à 5.6 km/h et 3.5% de pente -Durée 3h -0.0/-3.8	CMJ	Aucune différence significative de la hauteur du saut
Hayes, Morse (2010)	12 hommes modérément actifs 21 ans	-EX : Course sur tapis roulant à 80% Fcmax et EC : 48°C : 50% HR -0.0/-1.0/-1.9/-2.6/-3.3/-3.9	CMJ	Aucune différence significative
Judelson et al. (2007)	7 hommes en bonne santé et entraînés en résistance 23 ans	-EX : Marche sur tapis roulant à 5.4 km/h, 3% de pente et EC : 36.5°C, 45% HR, durée : jusqu'à perte de 5% -0.2/-2.4 -0.2/-4.8	CMJ	Aucune différence significative
Gutierrez et al. (2003)	12 joueurs (6 sexes masculins) et (6 sexes féminins) de soccers, natation, volleyball, handball. 22 ans (masculins) /24.5 ans (féminins) :	-EC :70°C, durée 1h -0.0/-1.8 (sexe masculin) -0.0/-1.4 (sexe féminin)	-CMJ -SJ	Homme : Aucune différence significative, Femme : diminution significative SJ de (5.9%; P < 0.05)
Viitasalo et al. (1987)	6 Joueurs de volleyball 24.5 ans	-EC : 85°C, 20% HR ; durée 2h -0.0/-3.4	CMJ	Diminution de la production de force (16.1%)

CC: condition contrôle; CMJ: saut de counter movement ; EC: exposition à la chaleur; EX: exercice; Fcmax: fréquence cardiaque maximale; HR: Humidité relative ; HYPO: condition hypohydraté; SJ : squat jump ; SV : Saut verticale

Ces résultats contradictoires pourraient potentiellement être dus aux différences de mode de déshydratation. Les deux études utilisaient une déshydratation passive induite la veille, ce qui atténuerait les effets possibles d'une exposition à la chaleur sur la performance. Davis et al. (2015) ont utilisé l'exercice à la chaleur, alors que Gann et al. (2016) ont utilisé l'exposition passive à la chaleur. Bien que les participants aient eu toute la nuit pour récupérer, il est toujours possible que les participants soient encore fatigués par l'exercice de la nuit précédente. Une autre cause possible des résultats différents est l'homogénéité des participants utilisée par Davis et al. (2015) comparé à Gann et al. (2016).

Collectivement, ces études montrent que la déshydratation de 1 à 3% peut avoir un impact négatif sur les performances de sprint intermittents répétés. Ces études soulignent l'importance pour les athlètes qui participent à des sports anaérobies intermittents d'être attentifs aux déficits hydriques quotidiens, en particulier dans un environnement chaud.

1.6. Hypohydratation : Mécanismes physiologiques affectant la performance

1.6.1. Mécanismes cardiovasculaires

Jusqu'à ce jour, on ignore à quel point les adaptations cardiovasculaires affectent la force et la puissance musculaire. La production de la force et de la puissance est essentiellement indépendante du système cardiovasculaire, car ces exercices ne nécessitent pas un débit cardiaque et reposent sur le renouvellement de l'adénosine triphosphate intramusculaire (ATP) et de la créatine phosphate (CP).

Tableau 5. Résumé des études mesurant les effets de la déshydratation sur la puissance anaérobie pour les exercices intermittents à haute intensité

Études	Caractéristiques des Participants	Degré de déshydratation / mode	Tests	Résultats
Gann et al., (2016)	12 athlètes masculins de la division II (soccer, basket-ball et football) 19-25 ans	-Déshydratation passive (3%) via un bain d'eau chaude	PP : Deux séries de 10 x 40 m sprint	Aucune différence significative
Yamashita et al., (2015)	8 Boxeurs amateurs collégiaux 20 ans	2.25% exercice sous la chaleur	PP : 4 séries de 5 sec de sprints maximaux avec 10 sec de repos	Aucune différence significative
Owen et al., (2013)	13 joueurs de soccer semi-professionnel 22 ans	-Déshydratation active 2.5% -1.1% (boire à volonté), -0.3	Distance parcourue pendant le Yo – Yo test	Aucune différence significative
Kraft et al., (2011)	10 hommes 22.4 ans	3% exposition passive à la chaleur	PM et PP : 15-s sprint intermittent avec 30 sec repos actif	Diminution significative de la PM 4.5% et de la PP 9.2%
Edwards et al., (2007)	11 joueurs actifs 24.4 ans	-Pédaler: 24–25°C, 47–55% HR -Match: 19–21°C, 46–57% HR 2.1% 2.4%	Distance parcourue pendant le Yo – Yo test	Diminution de la distance parcourue dans les deux conditions de 13% et de 15% par rapport à l'essai de euhydraté
Smith et al., (2000)	7 boxeurs amateurs 20.4 ans	4%	Boxe simulée : 3 x 3 min rounds; 1 min de repos	Diminution 28.6%
Maxwell et al., (1999)	11 étudiants masculins en bonne santé 27.7 ans	-1.5% exercice sous la chaleur	Temps d'épuisement : 20 sec sprints intermittents sur tapis roulant avec 120 sec de repos	Diminution significative de la (3.9%)
Hickner et al., (1991)	5 Lutteurs collégiaux 27.8 ans -	-4.5%	Puissance totale : Intermittent, 15 sec sprint avec 30 sec de repos	Diminution significative de la puissance totale (3.4%)

HR : Humidité relative; PM = Puissance moyenne; PP = Pic de puissance

1.6.2. Mécanismes métaboliques

Les études montrent également que les modifications du volume cellulaire induites par l'hydratation influencent fortement le métabolisme cellulaire (Keller, Szinnai, Bilz et Berneis, 2003; Ritz et al., 2003), ce qui suggère que l'hypohydratation pourrait perturber le métabolisme et affecter les exercices les plus brefs, d'une durée supérieure à 45 s (King, Costill, Fink, Hargreaves et Fielding, 1985). La majorité des travaux de recherche portent sur les modifications potentielles du métabolisme des glucides. D'autres travaux ont suggéré l'altération du métabolisme lipidique comme un mécanisme possible expliquant l'effet de l'hypohydratation sur l'activité musculaire maximale (L. E. Armstrong, Costill et Fink, 1985; Burge, Carey et Payne, 1993).

Les preuves expérimentales, bien que limitées, réfutent la possibilité que l'hypohydratation modifie principalement les réserves intramusculaires d'ATP et de CP (Horswill, 1993; S. J. Montain, Laird, Latzka et Sawka, 1997) ou les concentrations de glucose sanguin en circulation (Oöpik et al., 1996). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les effets de l'hypohydratation sur le métabolisme des lipides et des protéines pendant l'exercice, mais il est peu probable que ces facteurs entraînent une diminution des performances musculaires de haute intensité.

1.6.3. Mécanismes tampons

Une troisième hypothèse propose que l'état d'hydratation affecte l'équilibre acide-base du corps. Le fonctionnement cellulaire optimal nécessite le maintien d'un pH interne approprié, ce qui amène plusieurs chercheurs à suggérer que l'hydratation influence les performances en réduisant la capacité tampon (Fogelholm, 1994; Horswill, 1992). Cependant, des données portant sur les muscles et le sang n'ont montré aucune modification du pH interne et du bicarbonate (Bigard et al., 2001) induite par l'hypohydratation après l'exercice; par conséquent, il est peu probable que l'équilibre

acido-basique représente un mécanisme par lequel l'hypohydratation impacte la performance.

1.6.4. Mécanismes neuromusculaires

Les trois mécanismes précédents (cardiovasculaire, métabolique et tampon) semblent insuffisants pour expliquer les effets de l'hypohydratation sur la force, la puissance et l'endurance d'intensité élevée, laissant une quatrième possibilité, comme l'ont déclaré Coyle et Hamilton (1990). Il est peu probable qu'une réduction modérée d'eau musculaire altère la capacité de génération de force ou la production d'énergie du muscle. Il est plus probable que les réductions de force rarement rapportées à la suite d'une hypohydratation soient dues à une diminution de la capacité du système nerveux central à recruter des unités motrices ».

Beaucoup d'auteurs ont également affirmé que la perte de l'eau totale du corps affectait certains composants du système neuromusculaire (Fritzsche et al., 2000; Ftaiti, Grélot, Coudreuse et Nicol, 2001; Yoshida et al., 2002). Malheureusement, très peu de preuves scientifiques permettent d'évaluer ces hypothèses. Les données électromyographiques recueillies lors de contractions maximales sont limitées et peu concluantes (Bigard et al., 2001; Evetovich et al., 2002; Ftaiti et al., 2001; Vallier et al., 2005). De plus, les recherches portant sur l'effet de l'hypohydratation sur l'excitabilité des membranes musculaires vont clairement à l'encontre de cette hypothèse (Costill, Coté et Fink, 1976; Costill, Coté, Fink et Van Handel, 1981). Bien que l'altération de la fonction neuromusculaire puisse être une hypothèse intéressante, la littérature manque actuellement d'une étude bien conçue évaluant l'effet de l'état d'hydratation sur la commande motrice.

1.7 Importance du départ en natation

En natation, le départ est un élément clé pour la performance (West, Owen, Cunningham, Cook et Kilduff, 2011), car c'est lui qui donne le rythme de la course (Breed et Young, 2003). Un bon départ a une influence positive sur la performance, le gain réalisé par le départ à une distance de 5 ou de 10 mètres est maintenu tout au long de la course (Burkett, Mellifont et Mason, 2010).

Au niveau international, la performance de départ en natation est un élément important de la course, en particulier dans les épreuves courtes (Burkett et al., 2010). Il consiste à des mouvements explosifs destinés à propulser un nageur du bloc de départ dans l'eau (Breed et Young, 2003; Tous-Fajardo, Maldonado, Quintana, Pozzo et Tesch, 2006). Il contribue jusqu'à 30% de la course totale dans les sprints de 50 m (Mason et Cossor, 2000). West et al., (2011) ont signalé une forte corrélation négative entre le pic de puissance du bas du corps et le temps à 15 m chez les nageurs internationaux, ce qui peut indiquer que l'augmentation de pic de la puissance du bas du corps entraînera une amélioration de la performance de départ, un résultat de performance primaire en natation de sprint. Il a été prouvé qu'une augmentation de la puissance musculaire des membres inférieurs aura un effet positif sur la performance de départ en natation (Breed et Young, 2003; Kilduff et al., 2011; West et al., 2011). Par contre, il a été démontré qu'une hypohydratation de 3% de la masse corporelle altère la force musculaire du bas du corps (Savoie et al., 2015). Cependant, aucune étude n'a exploré l'effet d'un état d'hypohydratation sur la performance de départ en natation.

1.8. Hydratation et performance en natation

À ce jour, les effets du statut hydrique n'ont pas été suffisamment examinés chez les nageurs. Dans l'ensemble, trois études (Briars et al., 2017; Maresh et al., 2001;

TAIMURA et al., 1999) ont exploré l'effet de l'état d'hydratation sur les performances en natation. Dans le cadre d'une étude de Briars et al. (2017), réalisée pendant une session d'entraînement de 75 min, des nageurs âgés de 11 à 17 ans ont bu soit une boisson sportive, de l'eau ou aucune boisson. Les sujets ont par la suite effectué des sprints style libre de 10 x 100 m à des intervalles de 3 min. Les temps de sprint étaient globalement 0.027 sec plus rapide en étant hypohydraté que bien hydraté. Maresh et al. (2001) ont mené une étude sur des nageurs effectuant des essais de 2 x 200 m nage libre, dans des états alternatifs d'euhydration et de surhydratation. Bien que le temps de performance ait été amélioré pour 7 nageurs sur 11 (63%) au cours de la surhydratation, il n'y avait pas de signification statistique entre les conditions euhydratées (121.2 ± 8.1 sec) et surhydratées (120.8 ± 7.7 sec). Les données ont démontré que la surhydratation ne présentait aucun avantage en termes de performances lors d'un 200 m nage libre (Maresh et al., 2001). Contrairement à ces deux études, Taimura et al. (1999) ont démontré que l'ingestion d'eau au cours d'un exercice intensif de courte durée en natation, 20 x 50 m nage, améliorait significativement ($p < 0.05$) les performances (35.22 ± 0.36 sec vs 35.62 ± 0.39 sec) pour la condition hydratée par rapport à la condition non hydraté.

1.9. Impact de l'immersion en eau sur la régulation de l'équilibre hydrique

Les sports aquatiques sont uniques en ce qui concerne le maintien de l'état d'hydratation, car ils combinent les facteurs de stress associés à l'exercice et l'impact supplémentaire de l'immersion dans l'eau (Adams et al., 2016).

L'exercice et l'immersion dans l'eau ont des effets opposés sur la régulation hormonale des fluides. D'une part, il a été démontré que l'exercice musculaire stimule la sécrétion d'ADH et d'aldostérone (Horiuchi et al., 2018; Hubing et al., 2011; Kenefick et al 2008). Inversement, pendant l'immersion dans l'eau, il y a suppression des sécrétions d'ADH et diminution de la perception de la soif. La pression

hydrostatique exercée par l'eau sur le corps humain augmente le volume plasmatique et empêche l'accumulation du sang périphérique, ce qui entraîne une hypervolémie centrale (Bougault, Rasseneur, Doutreleau et Oswald-Mammosser, 2005; Castagna, Desruelle et Schmid, 2015). Kirwan et al. (1988) ont mesuré l'hémoglobine et l'hématocrite sur plusieurs jours consécutifs au cours d'un entraînement à une intensité maximale en nage libre chez des nageurs de compétition et ont constaté une augmentation relative de 11% du volume plasmatique au cours de l'entraînement. De plus, il a été démontré à plusieurs reprises que l'immersion dans de l'eau augmentait le volume sanguin central, le volume d'éjection systolique et, par conséquent, le débit cardiaque (Gabrielsen et al., 2000). Ce changement du volume sanguin peut supprimer la sécrétion d'ADH et la soif, tout en augmentant le débit d'urine diluée en raison de l'activation des barorécepteurs (Epstein, 1978, 1992; Sagawa et al., 1992). Cependant, il est important de noter que l'immersion dans l'eau a été associée à une réduction de la consommation volontaire d'eau dans des conditions d'hypohydratation (Holmér et Bergh, 1974).

En immersion dans l'eau, la température de la peau atteint rapidement l'équilibre thermique avec l'eau environnante (Macaluso et al., 2011). En fonction de la température de l'eau et de l'intensité de l'exercice, la thermorégulation pose généralement peu de problèmes et la température de la piscine est réglée de sorte que la température corporelle soit bien maintenue. Costill et al., (1967) ont rapporté que l'augmentation de la température rectale pendant 20 min de nage sous-maximale était directement liée à la température de l'eau. Il y a peu de possibilités de perte de chaleur par évaporation pendant la nage, car la plus grande partie du corps est immergée dans l'eau.

En conclusion, on connaît peu de choses sur l'impact de l'hypohydratation sur la performance en natation.

1.10. Énoncé du problème et but de l'étude.

Il a été démontré que, de façon relativement fréquente, les nageurs expérimentés se présentent à la piscine avec une légère hypohydratation. Or, une récente méta-analyse publiée par notre groupe de recherche démontre que l'hypohydratation diminue la performance musculaire à savoir la force, l'endurance et la puissance musculaire. Ainsi, nous nous questionnons à savoir si l'état d'hypohydratation dans lequel ils arrivent à la piscine pourrait contribuer à diminuer la performance en natation. Conséquemment, le but de cette étude est de vérifier l'impact d'une hypohydratation de l'ordre de 1,5% du poids corporel sur la performance au 100 m nage libre et la production de force maximale sur le bloc de départ.

1.11. Hypothèses de recherche

Des recherches ont montré qu'une hypohydratation $\geq 3\%$ de la perte de poids corporel est le niveau critique pour diminuer les performances anaérobies. Cependant, il y a eu des cas pour lesquels les performances anaérobies ont été diminuées avec une perte de poids corporel $< 3\%$. Même si ce niveau critique de perte de poids corporel est atteint, il est encore difficile de déterminer les effets exacts de l'hypohydratation sur les performances anaérobies d'une durée > 30 sec. Nous avons émis l'hypothèse que la performance au 100 m nage libre et la production de force maximale sur le bloc de départ seraient altérées par une légère hypohydratation.

2. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

Puisque ce mémoire est par article, les sections méthodologie et résultats sont décrites dans l'article scientifique ci-joint intitulé « **Impact of Mild Hypohydration on 100-m Freestyle Performance and Starting Block Peak Force Production in Competitive, University-Level Swimmers** ». Cet article a été soumis pour publication au journal "International Journal of Sports Physiology and Performance". La preuve de soumission peut être trouvée ci-bas.

-----Original Message-----

From: International Journal of Sports Physiology and Performance

Sent: March 20, 2020 2:19 PM

To: Éric Goulet

Subject: International Journal of Sports Physiology and Performance - Manuscript ID
IJSPP.2020-0229

20-Mar-2020

Dear Dr Goulet,

Your manuscript entitled "Impact of Mild Hypohydration on 100-m Freestyle Performance and Starting Block Peak Force Production in Competitive Swimmers" has been successfully submitted online and has entered the formal manuscript review process in the International Journal of Sports Physiology and Performance (IJSPP).

Your manuscript ID is IJSPP.2020-0229.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to Manuscript Central

at https://can01.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fmc.manuscriptcentral.com%2Fhk_ijspp&data=02%7C01%7Ceric.goulet%40usherbrooke.ca%7Cf44c4207403448b12cb208d7ccfb2e16%7C3a5a8744593545f99423b32c3a5de082%7C0%7C0%7C637203251490497046&sdata=%2BgZ2ZUnn1lmn%2BSZx%2Bfw%2BNuL6MiriKinOOpy%2B%2FpbOJg%3D&reserved=0 and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in

to https://can01.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fmc.manuscriptcentral.com%2Fhk_ijspp&data=02%7C01%7Ceric.goulet%40usherbrooke.ca%7Cf44c4207403448b12cb208d7ccfb2e16%7C3a5a8744593545f99423b32c3a5de082%7C0%7C0%7C637203251490497046&sdata=%2BgZ2ZUnn1lmn%2BSZx%2Bfw%2BNuL6MiriKinOOpy%2B%2FpbOJg%3D&reserved=0

51490497046&sdata=%2BgZ2ZUnn1lmn%2BSZx%2Bfw%2BNuL6MiriKinOOp9y%2B%2FpbOJg%3D&reserved=0. Please allow 6-8 weeks for review and the editorial decision on your submission.

Thank you for submitting your manuscript to the International Journal of Sports Physiology and Performance.

Yours sincerely,

Dr. Dionne Noordhof

Editorial, International Journal of Sports Physiology and Performance



**Impact of Mild Hypohydration on 100-m
Freestyle Performance and Starting Block Peak
Force Production in Competitive Swimmers**

Journal:	<i>International Journal of Sports Physiology and Performance</i>
Manuscript ID:	IJSPP.2020-0229
Manuscript Type:	Original Investigation
Date Submitted by the Author:	20-Mar-2020
Complete List of Authors:	Abed, Mohamed El Fethi Deshayes, Thomas Claveau, Pascale Jeker, David; Université de Sherbrooke, FASAP Thénault, François Goulet, Eric
Keywords:	hypohydration, Swimming, Performance

SCHOLARONE™
Manuscripts

Human Kinetics, 1607 N Market St, Champaign, IL 61825

Impact of Mild Hypohydration on 100-m Freestyle Performance and Starting Block Peak Force Production in Competitive Swimmers

Authors: Mohamed El Fethi Abed ¹, Thomas. A. Deshayes ^{1,2}, Pascale Claveau ¹, David Jeker ¹, François Thénault ¹, and Eric D.B. Goulet ^{1,2}

¹ Faculty of physical activity sciences, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, CAN; ² Research Centre on Aging, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, CAN.

Running head: Hypohydration and swimming performance

Corresponding author: Eric D.B. Goulet, Ph.D.
Performance, Hydration and Thermoregulation Laboratory
University of Sherbrooke

Abstract

Purposes: To examine the effect of mild hypohydration on 100-m freestyle swimming performance and peak force production on the starting block.

Methods: At least one hour after having been passively exposed to the heat where a body mass loss of 1.5% was induced or euhydration maintained, nine competitive swimmers (age : 22 ± 2 yrs) underwent an assessment of their peak forced production on the starting block and 100-m freestyle performance.

Results: One hour following hypohydration, rectal temperature had returned to baseline in each condition. Urine osmolality and specific gravity were significantly higher with hypohydration (995 ± 65 mOsmol/kg; 1.027 ± 0.003 g/mL) than euhydration (428 ± 345 mOsmol/kg; 1.016 ± 0.007 g/mL) prior to exercise testing, as was perceived thirst. Swimming performance (hypohydration: 63.00 ± 0.04 ; euhydration: 63.09 ± 0.05 sec, $p=0.86$) and peak force production on the starting block (hypohydration: 1315 ± 230 ; euhydration: 1322 ± 236 N, $p=0.72$) did not differ between conditions. Magnitude-based decisions indicate that, from a practical perspective, the effect of hypohydration on 100-m crawl performance is unclear and on peak force production on the starting block is trivial.

Conclusion: Our results indicate that mild hypohydration is unlikely to impede swimmers' peak force production on the starting block. However, it remains unclear how it might impact 100-m freestyle performance in competitive swimmers. Indeed, some swimmers performed substantially better while euhydrated whereas others when hypohydrated. Coaches should assess on an individual basis which hydration strategy is best for their 100-m freestyle specialists.

Keywords: Anaerobic performance · Euhydration · Hydration · Hypohydration · Swimming.

Introduction

It has been demonstrated that competitive adolescent¹ as well as adult² swimmers may report to the training pool for a training session already hypohydrated, based on urinary markers of hydration, i.e., with a urine specific gravity ≥ 1.02 g/mL or urine osmolality ≥ 700 mOsmol/kg.³ Although unknown, these observations suggest that some competitive swimmers may also engage in a competition hypohydrated. Moreover, it is not a rare occurrence that swimmers compete in multiple events during a swimming contest. The excitement of the day combined with the multiple cool-downs, warm-ups and changing periods may provide insufficient time to reverse hypohydration, putting the athlete under a situation where he/she may participate in more than one swimming event hypohydrated. Therefore, the incidence of hypohydration in swimmers is not to be mitigated.

Swimming has been on the program of the Summer Olympic Games since the first edition of the Games in 1896⁴ and is an extremely popular sport throughout the world. At the present moment, the 100-m freestyle long-course world record is 46.9 sec,⁵ with the second, third and fourth place finishers trailing by only 0.21, 0.34 and 0.36 sec.⁶ This event requires a combination of muscle power and strength such to produce a high take-off horizontal velocity on the starting block, which plays a critical role on 100-m swimming performance,^{7,8} and muscle endurance to maintain a high swimming velocity throughout the distance.

In a meta-analysis, Savoie et al.⁹ reported that hypohydration of 3% body mass decreases anaerobic power and strength by 6%, as well as muscle endurance by 8%. Jones et al.¹⁰ demonstrated that hypohydration of 3% body mass reduces upper-body 30-sec Wingate performance by 7%, compared with euhydration. A potential limitation of studies that examined the impact of hypohydration on muscle performance is that most produced hypohydration levels $> 2\%$ body mass, which are unlikely to be representative of the true state of hypohydration in which an athlete may enter a training session or competition. Indeed, it is reasonable to assume that athletes would not let themselves reach a relatively strong and persistent thirst sensation prior to training or a competition,^{11,12} and this threshold usually sets in at an hypohydration level $\geq 2\%$ body mass.¹³

The impact of hypohydration on high-intensity muscle performance has been mostly examined during land-based exercises.^{9,14} Two studies have looked into the effect of drinking on repeated 50 or 100-m swimming performances during a regular training session. Whereas Taimura et al.¹⁵ showed that drinking water during training improves swimming performance, compared with no fluid intake, Briars et al.¹⁶ did not. To the best of our knowledge, no study has examined the impact of pre-exercise

hypohydration on a single distance event recognized by the International Swimming Federation (FINA). Given the substantial impact that hypohydration may have on muscle performance *vs.* the thigh margins of time for a podium exclusion, understanding the degree to which hypohydration could impact a swimmer's performance is essential for the athletes, coaches and sports dietitian seeking optimal race preparation and performance.

Therefore, the aim of this study was to examine the effect of mild hypohydration (equivalent to 1.5% body mass loss) on 100-m freestyle performance and starting block peak force production in competitive swimmers. We hypothesized that 100-m freestyle performance and starting block peak force production would be impaired by mild hypohydration.

Methods

Participants

Competitive, healthy and highly-trained swimmers (6 males and 3 females) from the University of Sherbrooke swimming team participated in this study. Their training, physical, physiological and anthropometric characteristics are shown in Table 1. All experimental procedures, which were approved by the University of Sherbrooke Institutional Review Board, were explained to the participants before they gave their written and informed consent to take part in this study.

Experimental Design

After a preliminary visit, participants took part in 1) 3 familiarization trials and; 2) 2 experiments, which consisted of blocks of passive heat exposure while dehydration of 1.5 % body mass through sweat losses was induced, followed by a 1-h, passive recovery period and then a testing session to evaluate, first, the power produced by the legs on the starting block and, second, the 100-m freestyle performance. On average, participants underwent a familiarization trial every 3 days and the experiments were spaced by 7 to 10 days. Both the familiarization trials and experiments always started at the same time of day in the afternoon (1:00 pm). Hydration conditions were evaluated using a randomized, crossover and counterbalanced study design. Women underwent the experiments during the follicular phase of their menstrual cycle.

Preliminary Visit

During the preliminary visit, participants' physiological, physical, training and anthropometric characteristics were assessed. Training characteristics were determined with a questionnaire. Post-void body mass was measured to the nearest 20 g using an

electronic balance (BX-300 +, Altron Systems, USA), height with a wall stadiometer and fat mass and fat-free mass (FFM) with dual-energy X-ray absorptiometry (Lunar Prodigy, GE Healthcare, USA). Resting heart rate and blood pressure were measured after 3-min of seated rest with an automatic sphygmomanometer (Welch Allyn, USA).

Familiarization Trials

These trials were performed to familiarize the participants with the procedures used during the experimentations, to minimize the learning effect and to determine the coefficient of variation (CV) of the performance outcomes. It has been shown that the learning effect usually becomes negligible after two familiarization trials.¹⁷ We added a third familiarization trial to determine the CV of the different performance tests between the second and third familiarization trial. For each of the familiarization trial, participants first underwent a standardized 30-min warm-up period, then 3 jumps on the force platform each interspaced by a 2 min recovery period and, finally, after a 2 min recovery period, the 100-m freestyle.

Pre-Experimental Procedures

For the last 24 h prior to the first familiarization trial, participants kept and filled a fluid and diet log, which they replicated over the last 24 h prior to the remaining familiarization trials and the experiments. Consumption of dietary supplements and strength training were forbidden for 48 h prior to all familiarization trials and experiments. Participants went to sleep at the same time of the night prior to all familiarization trials and experiments and, 60 min prior to bedtime, consumed 250 mL of water. The same amount of water was also consumed 60 min prior to all familiarization trials and experiments. Participants were advised to keep their normal training routine throughout the study period. However, during the last 8 h prior to familiarization trials and experiments, they were requested to refrain from training.

Experimental Procedures

Arrival at Laboratory

Upon arrival at the laboratory, participants emptied their bladder and collected a midstream urine sample (for USG and Uosm analyses) and were weighted. This body mass was taken as the baseline, euhydrated body mass from which a 1.5% hypohydration level was calculated. They then inserted a telemetric probe (CorTemp, HQ Inc, USA) just passed the anal sphincter.²¹ Before entering the environmental chamber, maintained at 45°C and 20% relative humidity (RH), and while wearing only a swimsuit, rectal temperature was measured and participants were asked to provide their perceptions of thirst¹⁸ and heat.¹⁹

Heat Exposure and Hypohydration

Body mass loss was induced by passive sweating, while alternating between blocks of 25 min of seated heat exposure and 2 min recovery blocks outside the environmental chamber (~20-21°C and 30% RH). This cycle was repeated until participants had accumulated a loss of body mass of 1.5% through sweat losses. This dehydration technique was chosen such not to induce any muscle fatigue, thereby maximizing the validity of the performance outcomes. While inside the environmental chamber, measurements of rectal temperature, perceived thirst and heat stress were taken at min 24 of each block. During the recovery blocks, participants voided their bladder and measurements of body mass were taken. Shortly (2 min) after re-entering the environmental chamber, participants received an amount of water (provided at 35°C) equivalent to that lost through sweat (euhydration condition only) and urine (euhydration and hypohydration conditions) during the preceding heat exposure and recovery periods. If no urine was produced, participants in the hypohydration condition were allowed to rinse their mouth (to reduce dry mouth and thirst sensation) with 25 mL of water.

Recovery Period

Following heat exposure, participants passively recovered in a seated position for 60 min in a room held at ~20-21°C with 30% RH. The goal of this recovery period was to decrease core temperature to values comparable to their individual baseline level. At the end of the recovery period, participants voided their bladder, collected a midstream urine sample, were weighed and had their rectal temperature measured. They were then provided water in an amount equivalent to their accumulated body mass loss during the recovery period, to restore euhydration or the 1.5% body mass loss.

Following the recovery period, participants moved to the swimming pool, which was ~ 200 m away from the laboratory, and then completed a standardized warm-up consisting of 15 min of dry land stretching and dynamic exercises followed by 15 min of exercises in the water where participants made laps while controlling their own speed. Following the warm-up, participants voided their bladder, collected a midstream urine sample, were weighed, had their rectal temperature measured and then after 2 min of recovery underwent measurements of their force produced on the starting block followed, after 2 min of additional rest, by the 100-m freestyle.

Measurements

Urine specific gravity and U_{osm} were respectively determined with a digital refractometer (PAL-10S, Atago, USA) and the freezing point depression technique (Micro

Osmometer, Osmette, Precision Systems Inc., USA). The force produced on the starting block was measured with an AMTI portable force plate (Type OR6-1000, Watertown, MA USA) calibrated before each experiment, which was then fitted and adapted to the starting block such to keep the standard height from the water (0.7 m) and inclination (10°). The forces recorded by the force plate were first transformed to correct for the force plate inclination. Then, the peak resultant force (PFres) was calculated using the vertical (Fver) and horizontal (Fhor) components as indicated in West et al.⁸, using the following equation:

$$Fres = \sqrt{(Fhor^2 + Fver^2)} \quad (1)$$

Participants used a rear-weighted kick start position. The 100-m freestyle was carried out in the first swimming lane of a 50 m swimming pool. Water temperature was maintained at 28°C. The performance times were obtained in accordance with FINA regulations by averaging the times measured by three timekeepers, which were placed immediately beside the starting block such to have an unobstructed view of the wall. The start signal was given by a qualified official, in accordance with Swimming Canada's regulations,²² as follows: 1) swimmers climbed on the starting block; 2) the starter sent the command "Take your marks"; 3) the swimmers positioned themselves and keep a stationary position; 4) the starter called the starting signal "Go".

Statistical Analysis

All statistical analyses were performed with the IBM SPSS Statistics software (version 21, New York, USA). Normality of data distribution was assessed with a Shapiro-Wilk test. Normally distributed data were analyzed using either paired t-tests, one-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) or two-way (treatment x time) repeated measures ANOVA with Greenhouse-Geisser corrections when sphericity was violated. Abnormally distributed data were tested with a Wilcoxon signed ranks test, using the Asymptotic test to calculate significance. Because not all participants could produce urine at all collection points, urine-related variables were analyzed using linear mixed-effects model. When significant treatment or interaction effects were detected, multiple pairwise comparisons were performed and corrected with the false discovery rate procedure. The practical significance and implication of the effect of hypohydration on the performance outcomes was determined with magnitude-based decisions statistics.²³ The smallest acceptable worthwhile change in 100-m freestyle and starting block performance was set at 0.3 x the performance CV measured during the familiarization trial.²³ An intraclass correlation coefficient was measured to assess inter-rater reliability for the 100-m freestyle performance time. With 9 participants, the probability to detect a significant condition effect for the 100-m freestyle performance was 80%, based on a typical error of measurement of 0.3 sec and a minimal difference

between conditions of 0.32 sec. The threshold for statistical significance was set at 95% ($\alpha \leq 0.05$). Results are presented as means \pm SD.

Results

State of Hydration of Participants at Arrival to the Laboratory

Participants were adequately and similarly hydrated before each experiment, as supported by the non-significant differences in urine specific gravity (1.016 ± 0.004 vs. 1.016 ± 0.004 g/mL, $p=0.63$), urine osmolality (507 ± 180 vs. 503 ± 192 mOsmol/kg, $p=0.91$), urine production (219 ± 18 vs. 218 ± 27 mL, $p=0.91$) and body mass (71.2 ± 8.2 vs. 71.3 ± 8.9 kg, $p=0.65$) between the euhydrated and hypohydrated conditions.

Heat Exposure Duration and Hydration State

The time to achieve the targeted loss of body mass, which takes into account the recovery periods, was 99 ± 13 min and 102 ± 22 min ($p=0.68$) for the euhydrated and hypohydrated condition, respectively. Figure 1 shows the changes in urine specific gravity (A) and osmolality (B) throughout the experiments. As expected, a time, condition and interaction effect (all $p < 0.01$) was observed for both variables. Prior to starting the testing periods, urine specific gravity was 1.016 ± 0.007 g/mL and osmolality 428 ± 345 mOsmol/kg with the euhydrated condition, compared to respectively 1.027 ± 0.003 g/mL ($p < 0.01$) and 995 ± 65 mOsmol/kg ($p < 0.01$) with the hypohydrated condition.

Rectal Temperature

The changes in rectal temperature during the experiments are illustrated in Figure 2. There was a treatment ($p=0.02$) and time ($p < 0.01$), but no interaction ($p=0.87$) effect between hydration conditions. Following the 1-h recovery period, rectal temperature had returned to baseline for both hydration conditions ($p=0.91$).

Perceived Thirst and Heat stress

Perceived thirst and heat stress data are reported in Table 2. A time ($p < 0.01$), condition ($p < 0.01$) and interaction effect ($p=0.04$) was observed in the change in perceived thirst between hydration conditions. Following heat exposure ($p=0.04$) and prior to testing ($p=0.03$), perceived thirst was higher while hypohydrated than euhydrated. On the other hand, a time ($p < 0.01$) but no condition or interaction effect was observed between hydration conditions for perceived heat stress.

100-m Freestyle

There was no order effect ($p=0.52$) in performance. The inter-rater reliability for the 100-m freestyle time measurement was perfect at $r = 1.00$. As demonstrated in Figure 3, there was no significant difference in 100-m freestyle performance between hydration conditions (Δ time hypohydration – euhydration: $-0.13 \pm 2.15\%$, $p=0.86$). The day-to-day CV for the 100-m freestyle performance was 0.38%. From a practical perspective, therefore, the impact of hypohydration on 100-m freestyle performance is unclear.

Peak Force Produced on the Starting Block

No order effect was also observed for this variable ($p=0.61$). Figure 4 demonstrates the impact of hydration conditions on the absolute peak force produced on the starting block. No significant difference was observed whether force production was corrected or not (both $p=0.72$) for leg fat-free mass. Correcting for pre-testing body mass level did not change the outcome either ($p=0.24$). The day-to-day CV for absolute peak force produced on the starting block was 3.8%. A difference of only 0.38% was observed between hydration conditions for peak force production; hence, the impact of hypohydration on this parameter is expected to be trivial.

Discussion

This study examined the impact of mild hypohydration (1.5% body mass) on 100-m freestyle performance and peak muscle force production on the starting block in competitive, university-level swimmers. To the best of our knowledge, this is the first study to examine the effect of hypohydration on performance in competitive swimmers. Although from a statistical perspective none of the performance-related outcomes were significant, results indicate that from a practical perspective mild hypohydration is unlikely to impede swimmers' peak force production on the starting block, whereas it still remains unclear how this physiological state might impact 100-m freestyle performance.

Mild hypohydration can develop insidiously in an individual due to a slight mismatch between fluid intake and fluid losses through sweat, urine and respiration. In turn, blood hypertonicity will enhance ADH production resulting in an increased urine solute concentration. Urine osmolality (995 mOsmol/kg) and specific gravity (1.027 g/mL) measured immediately prior to the testing period indicated that swimmers were indeed hypohydrated. The magnitude of urinary solute concentration compares favorably well with that observed (urine osmolality: 828 mOsmol/kg; urine specific gravity: 1.022 g/mL) by Adams et al.¹ in adolescent swimmers reporting to the pool for a training session. Hence, our dehydration protocol was successful in reproducing the mild hypohydration level that could develop under daily living conditions in swimmers. On the other hand, in both of the hydration conditions rectal temperature had returned to baseline following the recovery period, suggesting that any difference observed

between conditions during the testing period cannot be attributed to fatigue associated with increased core temperature.

We observed no significant effect of mild hypohydration on 100-m freestyle performance and, from a practical perspective, the change in performance between conditions was deemed unclear. However, based on our numbers, a sample size of 97 swimmers would have been required to detect a potential significant difference between hydration conditions. Obviously, the conduct of such a study would be quite challenging from a recruitment, time and financial perspective and, therefore, is unlikely to be performed. On the other hand, had our observation been significant, the difference in performance between conditions would have been considered trivial. The unclarity of our findings relates to the equivocal response of swimmers to both hydration conditions. Indeed, in 3 swimmers the impact of hypohydration on performance was trivial, whereas in the remainder hypohydration was substantially deleterious in 3 and substantially helpful in 3 others. Because the impact on performance was quite important in those who responded favorably to either the euhydration or hypohydration condition, coaches are encouraged to test the effect of both hydration status on an individual basis. Unfortunately, none of the physiological and perceptual variables we measured could readily provide a clue for the deleterious or positive effect of each condition.

Start performance plays a critical role in sprint-type swim race.²⁴ Indeed, it provides a powerful momentum for the initial propulsion in the water. Moreover, air travelling generates less resistance compared with water.⁷ Lower body strength has been shown to be a key determinant for peak horizontal and vertical force production on the starting block⁸. Hypohydration of 3% body mass has been demonstrated to impair lower body muscle strength⁹. However, our findings indicate that mild hypohydration has a trivial effect on peak force production on the starting block, which may potentially be due to the mild level of hypohydration induced. Altogether, our observations indicate that it is the swimming portion of the 100-m freestyle, not the peak power produced during the swim start, which is impacted by the hydration status.

This study has limitations. First, the quality and validity of our observations are tributary to the intrinsic motivation and desire of swimmers to produce a maximal effort during the 100-m freestyle, including the start on the block. Second, results only apply to highly trained competitive swimmers. Third, per research design, participants were not blinded from the hydration conditions. Therefore, that a placebo effect contributed to decrease performance in some swimmers cannot be ruled out.²⁵ With nine participants appropriate counterbalancing of conditions was not achieved. However, no order effect was observed for performance-related outcomes.

Practical Applications

Swimmers may sometime report to the training pool in a mild state of hypohydration. Whether this physiological state could impact swimmers' 100-m freestyle performance had never been studied and providing an answer to this question could prove useful to optimize an athlete's preparation. During a 100-m freestyle, the start plays a key role in overall performance; our results show that hypohydration is likely to have a trivial impact on peak force production on the starting block. On the other hand, it is unclear how the hydration state impacts the swimming portion of the 100-m freestyle. Indeed, in some swimmers it is euhydration whereas in others hypohydration that improved performance more than the normal day-to-day typical variation in 100-m swimming time. Due to the important impact that each of these hydration strategies may have on 100-m freestyle performance, coaches should be encouraged to test their effect on an individual basis.

Conclusions

The present results indicate that the impact of mild hypohydration on 100-m performance is unclear, with some swimmers showing a decreased performance with hypohydration whereas others while being well hydrated. However, it appears that hypohydration has a trivial impact on peak force production on the starting block.

Acknowledgements

We must thank all athletes who participated in, and dedicated time, commitment and efforts to the success of this project. This study was made possible through a research grant provided by the Université de Sherbrooke.

References

1. Adams JD, Kavouras SA, Robillard JJ, et al. Fluid Balance of Adolescent Swimmers During Training. *J Strength Cond Res.* 2016;30(3):621-625.
2. Maughan RJ, Dargavel LA, Hares R, Shirreffs SM. Water and salt balance of well-trained swimmers in training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19(6):598-606.
3. Hew-Butler TD, Eskin C, Bickham J, Rusnak M, VanderMeulen M. Dehydration is how you define it: comparison of 318 blood and urine athlete spot checks. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2018;4(1):e000297.
4. IOC. *AQUATICS: History of Swimming at the Olympic Games.* 2015.
5. Wikipedia. World record progression 100 metres freestyle. https://en.wikipedia.org/wiki/World_record_progression_100_metres_freestyle#Long_course. Published 2020. Accessed February 20 2020, February 20 2020.
6. FINA. *13th FINA WORLD CHAMPIONSHIPS.* 2009.
7. Born DP, Stoggl T, Petrov A, Burkhardt D, Luthy F, Romann M. Analysis of Freestyle Swimming Sprint Start Performance After Maximal Strength or Vertical Jump Training in Competitive Female and Male Junior Swimmers. *J Strength Cond Res.* 2020;34(2):323-331.
8. West DJ, Owen NJ, Cunningham DJ, Cook CJ, Kilduff LP. Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. *J Strength Cond Res.* 2011;25(4):950-955.
9. Savoie FA, Kenefick RW, Ely BR, Cheuvront SN, Goulet ED. Effect of Hypohydration on Muscle Endurance, Strength, Anaerobic Power and Capacity and Vertical Jumping Ability: A Meta-Analysis. *Sports Med.* 2015;45(8):1207-1227.
10. Jones LC, Cleary MA, Lopez RM, Zuri RE, Lopez R. Active dehydration impairs upper and lower body anaerobic muscular power. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association.* 2008;22(2):455-463.

11. Armstrong LE, Johnson EC, McKenzie AL, Ellis LA, Williamson KH. Ultraendurance cycling in a hot environment: thirst, fluid consumption, and water balance. *J Strength Cond Res*. 2015;29(4):869-876.
12. Arnaoutis G, Verginadis P, Seal AD, Vogiatzis I, Sidossis LS, Kavouras SA. Progressive Dehydration in Junior Laser Class Sailors During World Championship. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018;28(1):75-81.
13. Greenleaf JE. Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(6):645-656.
14. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, et al. Hydration and Muscular Performance. *Sports Medicine*. 2007;37(10):907-921.
15. Taimura A, Matsumoto T, Lee J-B, et al. Effects of fluid ingestion during intermittent high intensity swimming exercise on thermoregulatory responses and performance. *熱帯医学 Tropical medicine*. 1999;41(2):65-73.
16. Briars GL, Gordon GS, Lawrence A, et al. Swim drink study: a randomised controlled trial of during-exercise rehydration and swimming performance. *BMJ Paediatr Open*. 2017;1(1):e000075.
17. Hopkins WG, Schabort EJ, Hawley JA. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med*. 2001;31(3):211-234.
18. Dion T, Savoie FA, Asselin A, Garipey C, Goulet ED. Half-marathon running performance is not improved by a rate of fluid intake above that dictated by thirst sensation in trained distance runners. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(12):3011-3020.
19. Gigou PY, Dion T, Asselin A, Berrigan F, Goulet ED. Pre-exercise hyperhydration-induced bodyweight gain does not alter prolonged treadmill running time-trial performance in warm ambient conditions. *Nutrients*. 2012;4(8):949-966.
20. Goulet ED, Rousseau SF, Lamboley CR, Plante GE, Dionne IJ. Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2 h of cycling in a temperate climate. *J Physiol Anthropol*. 2008;27(5):263-271.
21. Gosselin J, Beliveau J, Hamel M, et al. Wireless measurement of rectal temperature during exercise: Comparing an ingestible thermometric telemetric pill used as a suppository against a conventional rectal probe. *J Therm Biol*. 2019;83:112-118.

22. Canada S. *Swimming rules of swimming Canada*. Ontario February 28 2018 2018.
23. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(1):3-13.
24. Peterson Silveira R, Stergiou P, Figueiredo P, Castro FS, Katz L, Stefanyshyn DJ. Key determinants of time to 5 m in different ventral swimming start techniques. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(10):1317-1326.
25. Pollo A, Carlino E, Vase L, Benedetti F. Preventing motor training through nocebo suggestions. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(11):3893-3903.

Tables

Table 1. Physical, training, physiological and anthropometric characteristics of participants.

Characteristics	Mean (\pm SD)
Age (yrs)	22 \pm 2
Height (cm)	174 \pm 6
Body mass (kg)	71 \pm 9
Fat mass (%)	18 \pm 8
Body mass index (kg/m ²)	23.5 \pm 2.4
Lean mass (%)	82 \pm 8
Legs lean mass (kg)	21 \pm 3
Systolic blood pressure (mmHg)	123 \pm 9
Diastolic blood pressure (mmHg)	71 \pm 8
Resting heart rate (beats/min)	68 \pm 11
Training experience (yrs)	10 \pm 3
Training volume (h/week)	17 \pm 7
Personal best on 100-m freestyle (long course) (sec)	60.1 \pm 3.5

SD: standard deviation.

Table 2. Perceived thirst and perceived heat stress immediately before heat exposure, after heat exposure, post heat exposure and prior to testing while being euhydrated and hypohydrated.

Variables (AU)	Hydration conditions	Time-Period			
		Pre-HE	Post-HE	1-h Post-HE	Pre-testing
Perceived thirst	Euhydrated	3.3 ± 0.9	4.7 ± 2.3	2.9 ± 1.6	3.9 ± 1.5 ^{*#¶}
	Hypohydrated	3.3 ± 1.0	6.4 ± 1.5	6.1 ± 1.2	5.1 ± 1.6
Perceived heat stress	Euhydrated	3.9 ± 1.3	5.1 ± 1.4	2.8 ± 0.9	3.1 ± 1.1 [*]
	Hypohydrated	3.6 ± 0.8	5.5 ± 1.2	3.3 ± 0.7	3.3 ± 1.0

Values are mean ± standard deviation. *: time effect; ¶: treatment effect; #: interaction effect. HE: heat exposure; AU: arbitrary units.

Figure legends

Figure 1.

Changes in urine specific gravity (A) and osmolality (B) during the experiments. *: time effect; ¶: treatment effect. Pre-HE: pre-heat exposure; Post-HE: post-heat exposure. Results are means \pm SD.

Figure 2.

Changes in rectal temperature during the experiments. *: time effect; ¶: treatment effect. Pre-HE: pre heat exposure; Post-HE: post-heat exposure. Results are means \pm SD.

Figure 3.

Individual percent changes in 100-freestyle performance between the euhydrated and hypohydrated condition. The black square represents the mean change \pm SD. The grey zone represents the coefficient of variation for the 100-m freestyle performance. Changes in performance above the grey zone favor hypohydration and below the grey zone euhydration.

Figure 4.

Individual percent changes in absolute peak force production between the euhydrated and hypohydrated condition. The black square represents the mean change \pm SD. The grey zone represents the coefficient of variation for the peak force production on the starting block. Changes in performance above the grey zone favor euhydration and below the grey zone hypohydration.

Figures

Figure 1

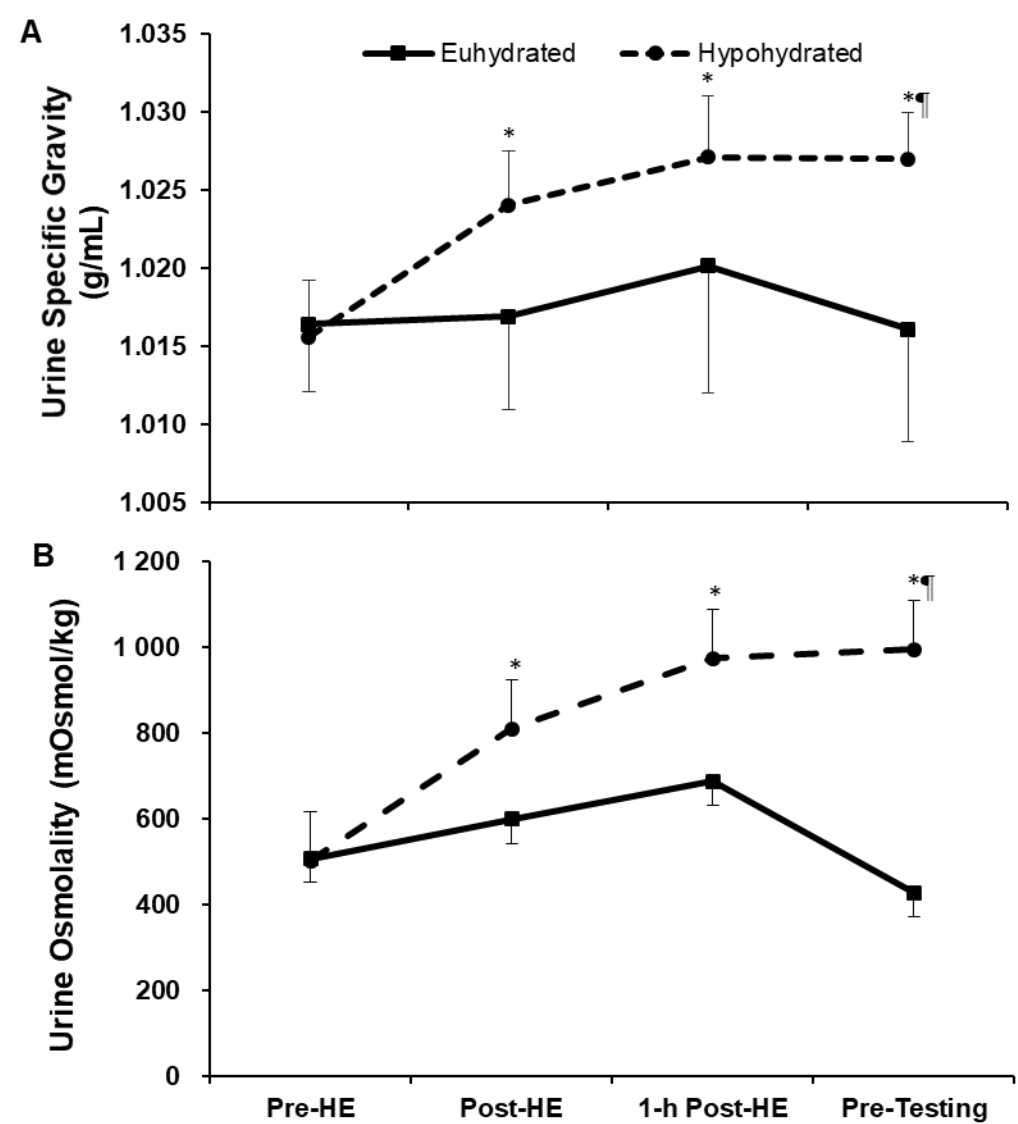


Figure 2.

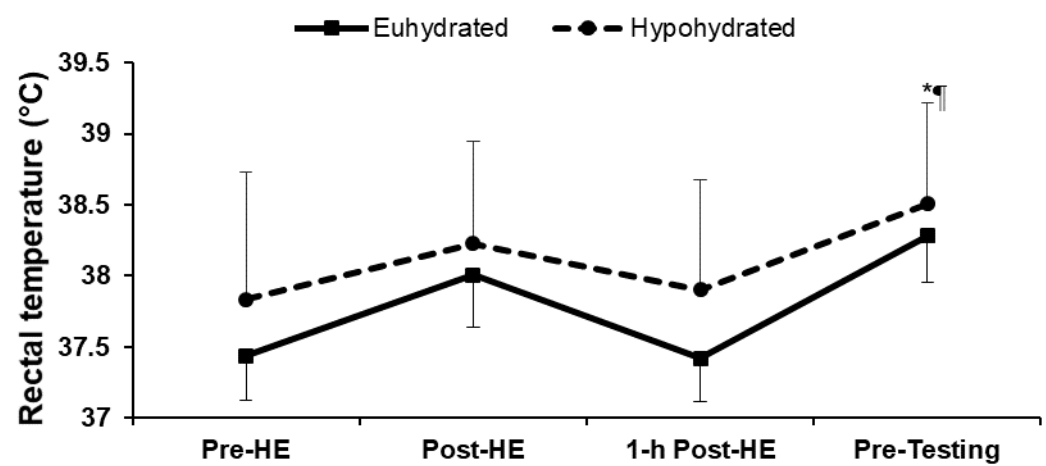


Figure 3.

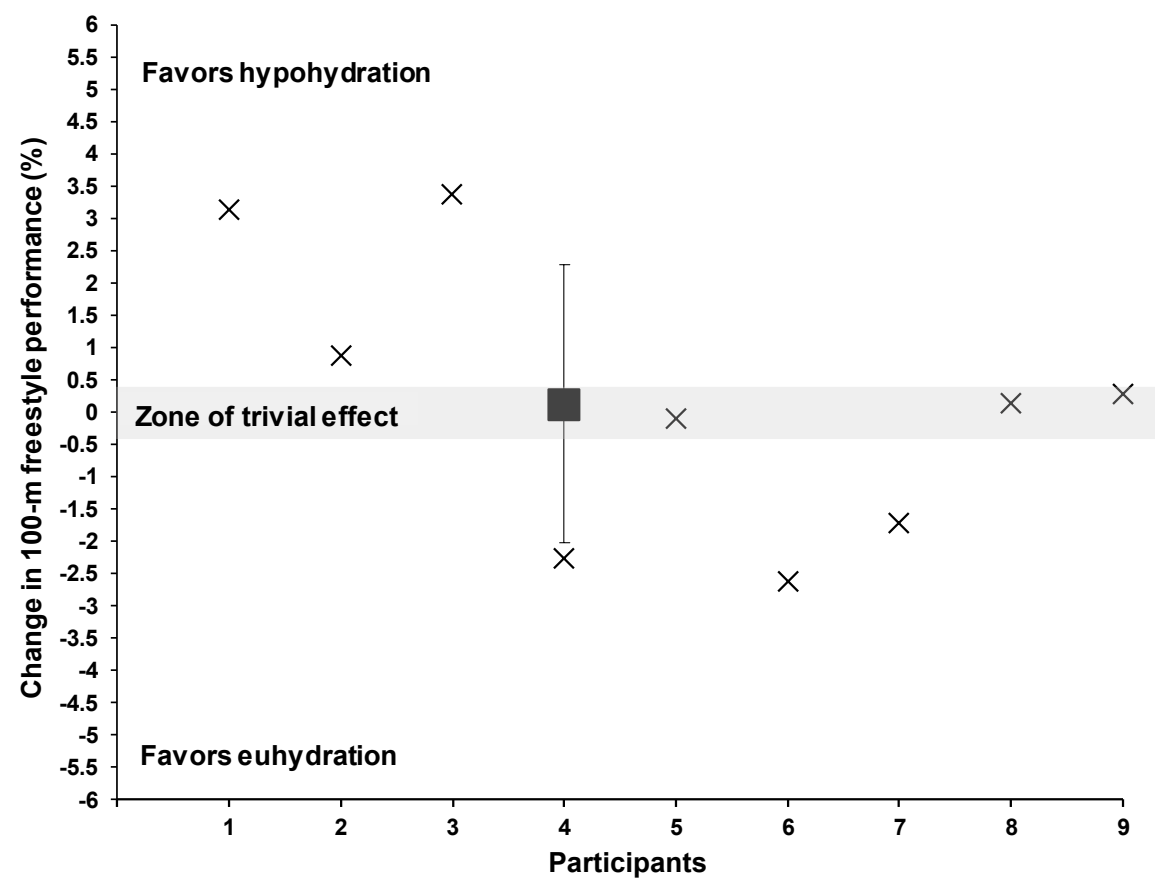
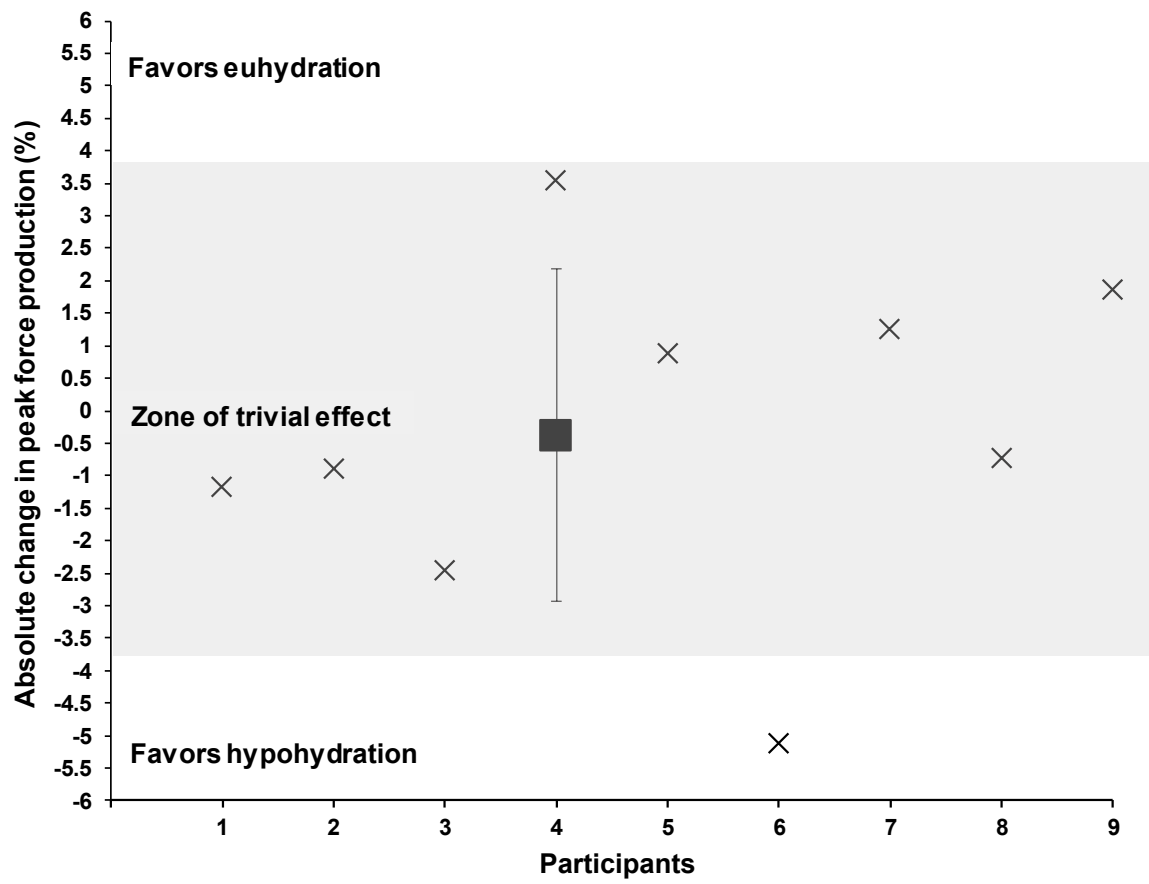


Figure 4.



3. DISCUSSION

Cette discussion est une addition à celle disponible dans l'article présenté dans la section méthodologie de ce mémoire.

Savoie et al. 2015 ont effectué une méta-analyse sur les effets de l'hypohydratation sur la force musculaire des membres inférieurs comme en haltérophilie, sur la puissance musculaire (épreuve de sprint au basket-ball ou de détente verticale en volley-ball) et sur l'endurance musculaire à haute intensité (activités >30 sec et < 2 min au soccer). La conclusion qui en est ressortie est que l'hypohydratation de 3% de la masse corporelle diminue la puissance musculaire de 6% lors des sprints, la force musculaire de 6% pour les tests de force maximale pour les membres inférieurs et l'endurance musculaire de 8% pour les épreuves à haute intensité d'une durée entre 30 sec et 2 min. En revanche, il a été démontré qu'une hypohydratation de 3% de la masse corporelle n'altère pas la capacité de saut vertical (Savoie et al., 2015). Cependant, ces études (Bigard et al., 2001; Cheuvront et al., 2010; Gann et al., 2016; Judelson, Maresh, Anderson, et al., 2007; Kraft et al., 2010) ont examiné l'impact de l'hypohydratation sur la performance musculaire seulement avec des niveaux d'hypohydratation > 2% de masse corporelle, ce qui est loin d'être représentatif du véritable état d'hypohydratation dans lequel un athlète peut participer à une compétition. C'est pourquoi on s'est intéressé à un niveau d'hypohydratation qui reflète les conditions de vie quotidienne des nageurs.

Cette étude, bien qu'à première vue ne démontre aucun résultat probant, permet de venir clarifier l'influence de l'hypohydratation sur la performance en natation lors d'un 100 m de nage libre. Le manque de clarté de nos résultats est lié à la réponse des nageurs aux deux conditions d'hydratation. En effet, trois participants ont répondu favorablement à l'hypohydratation, 3 participants ont répondu favorablement à

l'euhydration et 3 autres n'ont eu aucun effet. Parce que l'impact sur la performance était assez important chez ceux qui ont répondu favorablement à la condition d'euhydration ou d'hypohydration, les entraîneurs sont encouragés à tester l'effet des deux états d'hydratation sur une base individuelle.

D'une manière pratique, cette étude est utile pour enrichir la base de connaissances sur l'hydratation et son rôle dans la performance sportive. Le statut d'entraînement, les caractéristiques physiologiques et le niveau du degré d'entraînabilité de chaque athlète peuvent contribuer à une variabilité interindividuelle, car certains semblent mieux tolérer la déshydratation par rapport à d'autres. Les recherches futures sur ce sujet devraient utiliser des participants spécifiquement entraînés en 100 m nage libre plutôt que des participants de différentes spécialités. Cela permettra que les niveaux de performance de tous les participants soient non seulement similaires, mais aussi que leur organisme soit physiologiquement habitué aux exigences imposées. Cependant, il n'existe aucune garantie que des sujets entraînés en 100 m vont toujours être des répondeurs positifs.

De plus, il a été rapporté dans la littérature que les hommes subissent une perte de liquide plus élevée en raison des différences hormonales et la composition corporelle entre les deux sexes (Eijsvogels, Scholten, van Duijnhoven, Thijssen et Hopman, 2013). Chapelle et al., (2019) ont rapporté dans leur revue de la littérature que la prévalence d'hypohydration avant l'exercice était significativement plus élevée chez les joueurs de soccer masculins (66%) par rapport aux femmes (49%). Le sexe peut avoir un impact sur la perte et l'apport hydrique. En effet, les hommes ont des taux de transpiration plus élevés qui pourraient entraîner une perte de liquide plus importante pendant l'exercice par rapport aux femmes (Chapelle et al., 2019). Des études antérieures ont également montré que les hommes ont des taux plasmatiques de sodium plus élevés et une prévalence d'hypernatrémie plus élevée que les femmes après un exercice prolongé (Chorley, Cianca et Divine, 2007; Eijsvogels et al., 2008), ce qui

suggère une perte de liquide plus importante chez les hommes. Les différences entre les hommes et les femmes peuvent également être liées au cycle menstruel, en particulier parce que le cycle menstruel modifie la régulation des fluides corporels (Stachenfeld, 2008).

Une petite remarque concernant la température corporelle, les périodes d'expositions à la chaleur ont causé des maux de tête, des étourdissements et une faiblesse généralisée d'un participant lorsque sa température rectale a atteint 40°C. Ce qui nous amène à dire que la mesure de la température corporelle en continu est une donnée fiable de la capacité d'un individu à thermoréguler (Lim et al., 2008). En fait, la température rectale est la mesure la plus utilisée en physiologie de l'effort, car sa fiabilité et sa validité sont reconnues (Gosselin et al., 2019). Nous avons fourni, dans ce mémoire, des résultats qui indiquent que la température corporelle n'a pu influencé la performance. En effet, dans les deux conditions, la température rectale était revenue à la valeur de base après la période de récupération de 1h, ce qui suggère que toute différence observée entre les conditions pendant les tests ne peut pas être attribuée à la fatigue associée à l'augmentation de la température centrale.

4. CONCLUSION

Les résultats présentés dans ce mémoire rejettent nos hypothèses en démontrant aucune différence significative de la performance entre les deux conditions. D'un point de vue pratique, nos résultats indiquent que 1) une hypohydratation légère est peu susceptible d'entraver la production de force sur le bloc de départ et; 2) on ne sait pas comment cela pourrait affecter les performances du 100 m nage libre chez les nageurs de compétition. En effet, certains nageurs ont obtenu de bien meilleurs résultats lorsqu'ils étaient euhydratés tandis que d'autres lorsqu'ils étaient hypohydratés. Les entraîneurs devraient évaluer individuellement pendant l'entraînement quelle état d'hydratation convient le mieux à leurs spécialistes du 100 m nage libre et encourager la mise en œuvre de la stratégie pour les compétitions. D'un point de vue statistique, aucun des résultats de performance n'a été affecté par l'hypohydratation, ce qui implique que si une décision est basée sur ce principe, permettre aux nageurs de boire *ad libitum* avant d'arriver à la piscine devrait optimiser les performances.

Les futures recherches dans le domaine de l'hydratation et de la natation devraient s'intéresser aux types de stratégies à utiliser avant une compétition d'une durée plus longue, comme le 1500 m ou le 10 km en eau libre. Aussi, une étude tenant compte du nombre de participants pourrait mieux contrôler ce qui est attribuable aux véritables variations interindividuelles.

5. RÉFÉRENCES

- Adams, J. D., Kavouras, S. A., Johnson, E. C., Jansen, L. T., Capitan-Jimenez, C., Robillard, J. I. et Mauromoustakos, A. (2017). The Effect of Storing Temperature and Duration on Urinary Hydration Markers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 27(1), 18-24. doi:10.1123/ijsnem.2016-0098
- Adams, J. D., Kavouras, S. A., Robillard, J. I., Bardis, C. N., Johnson, E. C., Ganio, M. S., ... White, M. A. (2016a). Fluid Balance of Adolescent Swimmers During Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 621-625. doi:10.1519/JSC.0000000000001132
- Adams, J. D., Kavouras, S. A., Robillard, J. I., Bardis, C. N., Johnson, E. C., Ganio, M. S., ... White, M. A. (2016c). Fluid balance of adolescent swimmers during training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 621–625.
- American College of Sports Medicine, Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W. et Roberts, W. O. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 556-572. doi:10.1249/MSS.0b013e31802fa199
- American College of Sports Medicine, Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J. et Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine*

and Science in Sports and Exercise, 39(2), 377-390.
doi:10.1249/mss.0b013e31802ca597

American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine, Rodriguez, N. R., Di Marco, N. M. et Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 709-731.
doi:10.1249/MSS.0b013e31890eb86

Armstrong, D. G., Holtz-Neiderer, K., Wendel, C., Mohler, M. J., Kimbriel, H. R. et Lavery, L. A. (2007). Skin temperature monitoring reduces the risk for diabetic foot ulceration in high-risk patients. *The American journal of medicine*, 120(12), 1042-1046.

Armstrong, L. E., Costill, D. L. et Fink, W. J. (1985). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(4), 456-461. doi:10.1249/00005768-198508000-00009

Armstrong, L. E., Maresh, C. M., Castellani, J. W., Bergeron, M. F., Kenefick, R. W., LaGasse, K. E. et Riebe, D. (1994). Urinary indices of hydration status. *International Journal of Sport Nutrition*, 4(3), 265-279.

Armstrong, L. E., Soto, J. A., Hacker, F. T., Casa, D. J., Kavouras, S. A. et Maresh, C. M. (1998). Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *International Journal of Sport Nutrition*, 8(4), 345-355.

Armstrong, Lawrence E. (2005). Hydration assessment techniques. *Nutrition Reviews*, 63(6 Pt 2), S40-54.

- Armstrong, Lawrence E., Ganio, M. S., Klau, J. F., Johnson, E. C., Casa, D. J. et Maresh, C. M. (2014). Novel hydration assessment techniques employing thirst and a water intake challenge in healthy men. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 39(2), 138-144. doi:10.1139/apnm-2012-0369
- Armstrong, Lawrence E., Pumerantz, A. C., Fiala, K. A., Roti, M. W., Kavouras, S. A., Casa, D. J. et Maresh, C. M. (2010). Human hydration indices: acute and longitudinal reference values. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20(2), 145-153. doi:10.1123/ijsnem.20.2.145
- Arnaoutis, G., Kavouras, S. A., Angelopoulou, A., Skoulariki, C., Bismpekou, S., Mourtakos, S. et Sidossis, L. S. (2015). Fluid Balance During Training in Elite Young Athletes of Different Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(12), 3447-3452. doi:10.1519/JSC.0000000000000400
- Arnaoutis, G., Verginadis, P., Seal, A. D., Vogiatzis, I., Sidossis, L. S. et Kavouras, S. A. (2018). Progressive Dehydration in Junior Laser Class Sailors During World Championship. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(1), 75-81. doi:10.1123/ijsnem.2017-0142
- Baker, L. B., Dougherty, K. A., Chow, M. et Kenney, W. L. (2007a). Progressive dehydration causes a progressive decline in basketball skill performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1114-1123. doi:10.1249/mss.0b013e3180574b02

- Baker, L. B., Dougherty, K. A., Chow, M. et Kenney, W. L. (2007b). Progressive dehydration causes a progressive decline in basketball skill performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1114-1123. doi:10.1249/mss.0b013e3180574b02
- Bar-Or, O. (1998). Effects of age and gender on sweating pattern during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19 Suppl 2, S106-107. doi:10.1055/s-2007-971970
- Basset, F. A., Cahill, F., Handrigan, G., Ducharme, M. B. et Cheung, S. S. (2011). The effect of lower body cooling on the changes in three core temperature indices. *Physiological measurement*, 32(4), 385.
- Beedie, C. J. et Foad, A. J. (2009). The placebo effect in sports performance: a brief review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(4), 313-329. doi:10.2165/00007256-200939040-00004
- Bigard, A. X., Sanchez, H., Claveyrolas, G., Martin, S., Thimonier, B. et Arnaud, M. J. (2001a). Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), 1694-1700.
- Bigard, A. X., Sanchez, H., Claveyrolas, G., Martin, S., Thimonier, B. et Arnaud, M. J. (2001b). Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), 1694-1700. doi:10.1097/00005768-200110000-00013

- Bijlani, R. L. et Sharma, K. N. (1980). Effect of dehydration and a few regimes of rehydration on human performance. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 24(4), 255-266.
- Bosco, J. S., Greenleaf, J. E., Bernauer, E. M. et Card, D. H. (1974). Effects of acute dehydration and starvation on muscular strength and endurance. *Acta Physiologica Polonica*, 25(5), 411-421.
- Bosco, J. S., Terjung, R. L. et Greenleaf, J. E. (1968). Effects of progressive hypohydration on maximal isometric muscular strength. - PubMed - NCBI.
Repéré à
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Effects+of+progressive+hypohydration+on+maximal+isometric+muscular+strength>
- Bougault, V., Rasseneur, L., Doutreleau, S. et Oswald-Mammossier, M. (2005). Benefits of immersed physical activity in Asthma. *SCIENCE ET SPORTS*, 20(1), 1-11.
- Bowtell, J. L., Avenell, G., Hunter, S. P. et Mileva, K. N. (2013a). Effect of hypohydration on peripheral and corticospinal excitability and voluntary activation. *PloS One*, 8(10), e77004. doi:10.1371/journal.pone.0077004
- Bowtell, J. L., Avenell, G., Hunter, S. P. et Mileva, K. N. (2013b). Effect of hypohydration on peripheral and corticospinal excitability and voluntary activation. *PloS One*, 8(10), e77004. doi:10.1371/journal.pone.0077004

- Breed, R. V. et Young, W. B. (2003). The effect of a resistance training programme on the grab, track and swing starts in swimming. *Journal of sports sciences*, 21(3), 213-220.
- Briars, G. L., Gordon, G. S., Lawrence, A., Turner, A., Perry, S., Pillbrow, D., ... Molyneux, P. (2017). Swim drink study: a randomised controlled trial of during-exercise rehydration and swimming performance. *BMJ Paediatrics Open*, 1(1), e000075. doi:10.1136/bmjpo-2017-000075
- Burge, C. M., Carey, M. F. et Payne, W. R. (1993). Rowing performance, fluid balance, and metabolic function following dehydration and rehydration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(12), 1358-1364.
- Burkett, B., Mellifont, R. et Mason, B. (2010). The influence of swimming start components for selected Olympic and Paralympic swimmers. *Journal of applied biomechanics*, 26(2), 134-141.
- Byrne, C. et Lim, C. L. (2007). The ingestible telemetric body core temperature sensor: a review of validity and exercise applications. *British journal of sports medicine*, 41(3), 126-133.
- Caldwell, J. E., Ahonen, E. et Nousiainen, U. (1984). Differential effects of sauna-, diuretic-, and exercise-induced hypohydration. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 57(4), 1018-1023. doi:10.1152/jappl.1984.57.4.1018
- Campbell, S. (2004). Dietary Reference Intakes: Water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. *Clinical Nutrition Insight*, 30(6), 1-4.

- Casa, D. J., Armstrong, L. E., Hillman, S. K., Montain, S. J., Reiff, R. V., Rich, B. S., ... Stone, J. A. (2000). National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *Journal of Athletic Training*, 35(2), 212-224.
- Casa, Douglas J., Armstrong, L. E., Ganio, M. S., Kavouras, S. A., Stearns, R. L. et Wingo, E. J. (2015). Hydration for high-level athletes., p. 249-275.
- Casa, Douglas J., Stearns, R. L., Lopez, R. M., Ganio, M. S., McDermott, B. P., Walker Yeargin, S., ... Maresh, C. M. (2010). Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *Journal of Athletic Training*, 45(2), 147-156. doi:10.4085/1062-6050-45.2.147
- Castagna, O., Desruelle, A. V. et Schmid, B. (2015). La physiologie de l'immersion: aspects hydrominéral et thermique. *Med Armées*, 1, 101-10.
- Caterisano, A., Camaione, D. N., Murphy, R. T. et Gonino, V. J. (1988). The effect of differential training on isokinetic muscular endurance during acute thermally induced hypohydration. *The American Journal of Sports Medicine*, 16(3), 269-273. doi:10.1177/036354658801600313
- Chadha, V., Garg, U. et Alon, U. S. (2001). Measurement of urinary concentration: a critical appraisal of methodologies. *Pediatric Nephrology (Berlin, Germany)*, 16(4), 374-382.
- Chapelle, L., Tassignon, B., Rommers, N., Mertens, E., Mullie, P. et Clarys, P. (2019). Pre-exercise hypohydration prevalence in soccer players: A quantitative systematic review. *European Journal of Sport Science*, 1-12. doi:10.1080/17461391.2019.1669716

- Cheuvront, S. N., Carter, R., Haymes, E. M. et Sawka, M. N. (2006a). No effect of moderate hypohydration or hyperthermia on anaerobic exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(6), 1093-1097. doi:10.1249/01.mss.0000222838.74015.15
- Cheuvront, S. N., Carter, R., Haymes, E. M. et Sawka, M. N. (2006b). No effect of moderate hypohydration or hyperthermia on anaerobic exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(6), 1093-1097. doi:10.1249/01.mss.0000222838.74015.15
- Cheuvront, S. N., Carter, R., Montain, S. J. et Sawka, M. N. (2004a). Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14(5), 532-540. doi:10.1123/ijsnem.14.5.532
- Cheuvront, S. N., Carter, R., Montain, S. J. et Sawka, M. N. (2004b). Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14(5), 532-540.
- Cheuvront, S. N. et Kenefick, R. W. (2014). Dehydration: physiology, assessment, and performance effects. *Comprehensive Physiology*, 4(1), 257-285. doi:10.1002/cphy.c130017
- Cheuvront, S. N., Kenefick, R. W., Ely, B. R., Harman, E. A., Castellani, J. W., Frykman, P. N., ... Sawka, M. N. (2010). Hypohydration reduces vertical

- ground reaction impulse but not jump height. *European Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1163-1170. doi:10.1007/s00421-010-1458-y
- Cheuvront, S. N., Kenefick, R. W. et Zambraski, E. J. (2015). Spot urine concentrations should not be used for hydration assessment: a methodology review. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 25(3), 293-297.
- Cheuvront, S. N. et Sawka, M. N. (2005a). Hydration assessment of athletes. *Sports Sci Exchange*, 18(2), 1-6.
- Cheuvront, S. N. et Sawka, M. N. (2005b). Hydration assessment of athletes. *Sports Sci Exchange*, 18(2), 1-6.
- Chorley, J., Cianca, J. et Divine, J. (2007). Risk factors for exercise-associated hyponatremia in non-elite marathon runners. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(6), 471-477. doi:10.1097/JSM.0b013e3181588790
- Convertino, V. A., Keil, L. C., Bernauer, E. M. et Greenleaf, J. E. (1981). Plasma volume, osmolality, vasopressin, and renin activity during graded exercise in man. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 50(1), 123-128. doi:10.1152/jappl.1981.50.1.123
- Costill, D. L., Côté, R. et Fink, W. (1976). Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. *Journal of Applied Physiology*, 40(1), 6-11. doi:10.1152/jappl.1976.40.1.6

- Costill, D. L., Coté, R., Fink, W. J. et Van Handel, P. (1981). Muscle water and electrolyte distribution during prolonged exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 130-134. doi:10.1055/s-2008-1034598
- Davis, J.-K., Laurent, C. M., Allen, K. E., Green, J. M., Stolworthy, N. I., Welch, T. R. et Nevett, M. E. (2015). Influence of Dehydration on Intermittent Sprint Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2586–2593. doi:10.1519/JSC.0000000000000907
- Del Coso, J., Estevez, E. et Mora-Rodriguez, R. (2008). Caffeine effects on short-term performance during prolonged exercise in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(4), 744-751. doi:10.1249/MSS.0b013e3181621336
- Edwards, A. M., Mann, M. E., Marfell-Jones, M. J., Rankin, D. M., Noakes, T. D. et Shillington, D. P. (2007). Influence of moderate dehydration on soccer performance: physiological responses to 45 min of outdoor match-play and the immediate subsequent performance of sport-specific and mental concentration tests. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 385-391. doi:10.1136/bjsm.2006.033860
- Eijsvogels, T. M. H., Scholten, R. R., van Duijnhoven, N. T. L., Thijssen, D. H. J. et Hopman, M. T. E. (2013). Sex difference in fluid balance responses during prolonged exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 198-206. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01371.x
- Eijsvogels, T. M. H., Thijssen, D. H. J., Poelkens, F., Binkhorst, M., Wouters, C. W., Schouwenberg, B. J. J. W. et Hopman, M. T. E. (2008). [Physical risks whilst

- walking the Nijmegen Four Days Marches in 2007: electrolyte imbalance in 1 in 5 walkers]. *Nederlands Tijdschrift Voor Geneeskunde*, 152(28), 1571-1578.
- El-Radhi, A. S. (2013). Temperature measurement: the right thermometer and site. *British Journal of Nursing*, 22(4), 208-211.
- Epstein, M. (1978). Renal effects of head-out water immersion in man: implications for an understanding of volume homeostasis. *Physiological Reviews*, 58(3), 529-581. doi:10.1152/physrev.1978.58.3.529
- Epstein, M. (1992). Renal effects of head-out water immersion in humans: a 15-year update. *Physiological Reviews*, 72(3), 563-621. doi:10.1152/physrev.1992.72.3.563
- Ersoy, N., Ersoy, G. et Kutlu, M. (2016). Assessment of hydration status of elite young male soccer players with different methods and new approach method of substitute urine strip. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 34. doi:10.1186/s12970-016-0145-8
- Evetovich, T. K., Boyd, J. C., Drake, S. M., Eschbach, L. C., Magal, M., Soukup, J. T., ... Weir, J. P. (2002). Effect of moderate dehydration on torque, electromyography, and mechanomyography. *Muscle & Nerve*, 26(2), 225-231. doi:10.1002/mus.10203
- Fogelholm, M. (1994). Effects of bodyweight reduction on sports performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 18(4), 249-267. doi:10.2165/00007256-199418040-00004

- Fritzsche, R. G., Switzer, T. W., Hodgkinson, B. J., Lee, S. H., Martin, J. C. et Coyle, E. F. (2000). Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 88(2), 730-737. doi:10.1152/jappl.2000.88.2.730
- Ftaiti, F., Grélot, L., Coudreuse, J. M. et Nicol, C. (2001). Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 84(1-2), 87-94. doi:10.1007/s004210000339
- Gabrielsen, A., Videbaek, R., Johansen, L. B., Warberg, J., Christensen, N. J., Pump, B. et Norsk, P. (2000). Forearm vascular and neuroendocrine responses to graded water immersion in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169(2), 87-94. doi:10.1046/j.1365-201x.2000.00680.x
- Gagnon, D., Lemire, B. B., Casa, D. J. et Kenny, G. P. (2010). Cold-water immersion and the treatment of hyperthermia: using 38.6 C as a safe rectal temperature cooling limit. *Journal of athletic training*, 45(5), 439-444.
- Gann, J. J., Green, J. M., O'Neal, E. K., Renfro, L. G. et Andre, T. L. (2016). Effects of Hypohydration on Repeated 40-yd Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 901-909. doi:10.1519/JSC.0000000000001177
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine*, 31(10), 725-741.

Goulet, E. D. (2012). Dehydration and endurance performance in competitive athletes.

Nutrition Reviews, 70(suppl_2), S132–S136.

Goulet, E. D. B. (2013). Effect of exercise-induced dehydration on endurance performance: evaluating the impact of exercise protocols on outcomes using a meta-analytic procedure.

British Journal of Sports Medicine, 47(11), 679-686.

doi:10.1136/bjsports-2012-090958

Goulet, E. D. B., Mélançon, M. O., Lafrenière, D., Paquin, J., Maltais, M. et Morais, J.

A. (2018). Impact of Mild Hypohydration on Muscle Endurance, Power, and Strength in Healthy, Active Older Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3405-3415.

doi:10.1519/JSC.0000000000001857

Goulet, E. D. B., Rousseau, S. F., Lamboley, C. R. H., Plante, G. E. et Dionne, I. J.

(2008). Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2 h of cycling in a temperate climate. *Journal of Physiological Anthropology*, 27(5), 263-271.

Grandjean, A. C., Reimers, K. J. et Buyckx, M. E. (2003). Hydration: Issues for the

21st Century. *Nutrition Reviews*, 61(8), 261-271. doi:10.1301/nr.2003.aug.261-

271

Greiwe, J. S., Staffey, K. S., Melrose, D. R., Narve, M. D. et Knowlton, R. G. (1998).

Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(2), 284-288.

Gutiérrez, A., Mesa, J. L. M., Ruiz, J. R., Chirisa, L. J. et Castillo, M. J. (2003a).

Sauna-induced rapid weight loss decreases explosive power in women but not

in men. *International Journal of Sports Medicine*, 24(7), 518-522.
doi:10.1055/s-2003-42017

Gutiérrez, A., Mesa, J. L. M., Ruiz, J. R., Chirisa, L. J. et Castillo, M. J. (2003b).
Sauna-induced rapid weight loss decreases explosive power in women but not
in men. *International Journal of Sports Medicine*, 24(7), 518-522.
doi:10.1055/s-2003-42017

Hamouti, N., Del Coso, J., Avila, A. et Mora-Rodriguez, R. (2010). Effects of athletes'
muscle mass on urinary markers of hydration status. *European Journal of
Applied Physiology*, 109(2), 213-219. doi:10.1007/s00421-009-1333-x

Harvey, G., Meir, R., Brooks, L. et Holloway, K. (2008). The use of body mass changes
as a practical measure of dehydration in team sports. *Journal of Science and
Medicine in Sport*, 11(6), 600-603. doi:10.1016/j.jsams.2007.05.012

Hayes, L. D. et Morse, C. I. (2010a). The effects of progressive dehydration on strength
and power: is there a dose response? *European Journal of Applied Physiology*,
108(4), 701-707. doi:10.1007/s00421-009-1288-y

Hayes, L. D. et Morse, C. I. (2010b). The effects of progressive dehydration on strength
and power: is there a dose response? *European Journal of Applied Physiology*,
108(4), 701-707. doi:10.1007/s00421-009-1288-y

Hew-Butler, T. D., Eskin, C., Bickham, J., Rusnak, M. et VanderMeulen, M. (2018).
Dehydration is how you define it: comparison of 318 blood and urine athlete
spot checks. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 4(1), e000297.
doi:10.1136/bmjsem-2017-000297

- Hickner, R. C., Horswill, C. A., Welker, J. M., Scott, J., Roemmich, J. N. et Costill, D. L. (1991). Test development for the study of physical performance in wrestlers following weight loss. *International Journal of Sports Medicine*, 12(6), 557-562. doi:10.1055/s-2007-1024733
- Hillman, A. R., Vince, R. V., Taylor, L., McNaughton, L., Mitchell, N. et Siegler, J. (2011). Exercise-induced dehydration with and without environmental heat stress results in increased oxidative stress. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 36(5), 698-706. doi:10.1139/h11-080
- Hoffman, J. R., Stavsky, H. et Falk, B. (1995a). The effect of water restriction on anaerobic power and vertical jumping height in basketball players. *International Journal of Sports Medicine*, 16(4), 214-218. doi:10.1055/s-2007-972994
- Hoffman, J. R., Stavsky, H. et Falk, B. (1995b). The effect of water restriction on anaerobic power and vertical jumping height in basketball players. *International Journal of Sports Medicine*, 16(4), 214-218. doi:10.1055/s-2007-972994
- Holmér, I. et Bergh, U. (1974). Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 37(5), 702-705. doi:10.1152/jappl.1974.37.5.702
- Horiuchi, M., Ni-I-Nou, A., Miyazaki, M., Ando, D. et Koyama, K. (2018). Impact of Resistance Exercise under Hypoxia on Postexercise Hemodynamics in Healthy

- Young Males. *International Journal of Hypertension*, 2018, 1456972.
doi:10.1155/2018/1456972
- Horswill, C. A. (1992a). Applied physiology of amateur wrestling. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(2), 114-143. doi:10.2165/00007256-199214020-00004
- Horswill, C. A. (1992b). Applied physiology of amateur wrestling. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(2), 114-143. doi:10.2165/00007256-199214020-00004
- Horswill, C. A. (1993). Weight loss and weight cycling in amateur wrestlers: implications for performance and resting metabolic rate. *International Journal of Sport Nutrition*, 3(3), 245-260. doi:10.1123/ijsn.3.3.245
- Hubing, K. A., Bassett, J. T., Quigg, L. R., Phillips, M. D., Barbee, J. J. et Mitchell, J. B. (2011). Exercise-associated hyponatremia: the influence of pre-exercise carbohydrate status combined with high volume fluid intake on sodium concentrations and fluid balance. *European Journal of Applied Physiology*, 111(5), 797-807. doi:10.1007/s00421-010-1706-1
- Jacobs, I. (1980a). The effects of thermal dehydration on performance of the Wingate anaerobic test. *International Journal of Sports Medicine*, p. 21-24.
- Jacobs, I. (1980b). The Effects of Thermal Dehydration on Performance of the Wingate Anaerobic Test. *International Journal of Sports Medicine*, 01(01), 21-24.
doi:10.1055/s-2008-1034625
- Jéquier, E. et Constant, F. (2010). Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(2), 115-123.
doi:10.1038/ejcn.2009.111

- Jones, L. C., Cleary, M. A., Lopez, R. M., Zuri, R. E. et Lopez, R. (2008a). Active dehydration impairs upper and lower body anaerobic muscular power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 455-463. doi:10.1519/JSC.0b013e3181635ba5
- Jones, L. C., Cleary, M. A., Lopez, R. M., Zuri, R. E. et Lopez, R. (2008b). Active dehydration impairs upper and lower body anaerobic muscular power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 455-463. doi:10.1519/JSC.0b013e3181635ba5
- Judelson, D. A., Maresh, C. M., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Casa, D. J., Kraemer, W. J. et Volek, J. S. (2007a). Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(10), 907-921. doi:10.2165/00007256-200737100-00006
- Judelson, D. A., Maresh, C. M., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Casa, D. J., Kraemer, W. J. et Volek, J. S. (2007b). Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(10), 907-921. doi:10.2165/00007256-200737100-00006
- Judelson, D. A., Maresh, C. M., Farrell, M. J., Yamamoto, L. M., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., ... Anderson, J. M. (2007a). Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1817-1824. doi:10.1249/mss.0b013e3180de5f22

Kavouras, S. A., Arnaoutis, G., Makrillos, M., Garagouni, C., Nikolaou, E., Chira, O., ... Sidossis, L. S. (2012). Educational intervention on water intake improves hydration status and enhances exercise performance in athletic youth. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(5), 684-689. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01296.x

Kavouras, Stavros A., Johnson, E. C., Bougatsas, D., Arnaoutis, G., Panagiotakos, D. B., Perrier, E. et Klein, A. (2016). Validation of a urine color scale for assessment of urine osmolality in healthy children. *European Journal of Nutrition*, 55(3), 907-915. doi:10.1007/s00394-015-0905-2

Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Owen, N. J., West, D. J., Bracken, R. M. et Cook, C. J. (2011). Effect of postactivation potentiation on swimming starts in international sprint swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2418-2423. doi:10.1519/JSC.0b013e318201bf7a

Kraft, J. A., Green, J. M., Bishop, P. A., Richardson, M. T., Neggers, Y. H. et Leeper, J. D. (2010a). Impact of dehydration on a full body resistance exercise protocol. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 259-267. doi:10.1007/s00421-009-1348-3

Kraft, J. A., Green, J. M., Bishop, P. A., Richardson, M. T., Neggers, Y. H. et Leeper, J. D. (2010b). Impact of dehydration on a full body resistance exercise protocol. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 259-267. doi:10.1007/s00421-009-1348-3

- Kraft, J. A., Green, J. M., Bishop, P. A., Richardson, M. T., Neggers, Y. H. et Leeper, J. D. (2011). Effects of heat exposure and 3% dehydration achieved via hot water immersion on repeated cycle sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 778-786. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c1f79d
- Kraft, J. A., Green, J. M., Bishop, P. A., Richardson, M. T., Neggers, Y. H. et Leeper, J. D. (2012). The influence of hydration on anaerobic performance: a review. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(2), 282-292. doi:10.1080/02701367.2012.10599859
- Lim, C. L., Byrne, C. et Lee, J. K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 37(4), 347-353.
- Macaluso, F., Di Felice, V., Boscaino, G., Bonsignore, G., Stampone, T., Farina, F. et Morici, G. (2011). Effects of three different water temperatures on dehydration in competitive swimmers. *Science & Sports*, 26(5), 265-271.
- MacLeod, H. et Sunderland, C. (2012). Previous-day hypohydration impairs skill performance in elite female field hockey players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(3), 430-438. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01230.x
- Maresh, C. M., Bergeron, M. F., Kenefick, R. W., Castellani, J. W., Hoffman, J. R. et Armstrong, L. E. (2001). Effect of overhydration on time-trial swim performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(4), 514-518.

- Mason, B. et Cossor, J. (2000). *What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships?* Communication présentée au ISBS-Conference Proceedings Archive.
- Maughan, R. J. et Shirreffs, S. M. (2010). Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 Suppl 3, 40-47. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01207.x
- Maughan, Ronald J. et Shirreffs, S. M. (2008a). Development of individual hydration strategies for athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(5), 457-472.
- Maughan, Ronald J. et Shirreffs, S. M. (2008b). Development of individual hydration strategies for athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(5), 457-472. doi:10.1123/ijsnem.18.5.457
- Maughan, Ronald J., Watson, P., Evans, G. H., Broad, N. et Shirreffs, S. M. (2007). Water balance and salt losses in competitive football. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(6), 583-594.
- McDermott, B. P., Anderson, S. A., Armstrong, L. E., Casa, D. J., Cheuvront, S. N., Cooper, L., ... Roberts, W. O. (2017). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for the Physically Active. *Journal of Athletic Training*, 52(9), 877-895. doi:10.4085/1062-6050-52.9.02
- Medicine, I. of. (2004). *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*. doi:10.17226/10925

- Montain, S. J., Laird, J. E., Latzka, W. A. et Sawka, M. N. (1997). Aldosterone and vasopressin responses in the heat: hydration level and exercise intensity effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5), 661-668. doi:10.1097/00005768-199705000-00012
- Montain, S. J., Smith, S. A., Mattot, R. P., Zientara, G. P., Jolesz, F. A. et Sawka, M. N. (1998). Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a ³¹P-MRS study. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 84(6), 1889-1894. doi:10.1152/jappl.1998.84.6.1889
- Montain, Scott J. et Tharion, W. J. (2010). Hypohydration and muscular fatigue of the thumb alter median nerve somatosensory evoked potentials. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 35(4), 456-463. doi:10.1139/H10-032
- Moran, D. S. et Mendal, L. (2002). Core temperature measurement. *Sports Medicine*, 32(14), 879-885.
- Mündel, T., Carter, J. M., Wilkinson, D. M. et Jones, D. A. (2016). A comparison of rectal, oesophageal and gastro-intestinal tract temperatures during moderate-intensity cycling in temperate and hot conditions. *Clinical physiology and functional imaging*, 36(1), 11-16.
- Naharudin, M. N. et Yusof, A. (2013). Fatigue index and fatigue rate during an anaerobic performance under hypohydrations. *PloS One*, 8(10), e77290. doi:10.1371/journal.pone.0077290

- Nelson, D. L. et Cox, M. M. (2008). *Absolute Ultimate Guide for Lehninger Principles of Biochemistry*. WH Freeman and Company, New York, NY.
- Nuccio, R. P., Barnes, K. A., Carter, J. M. et Baker, L. B. (2017). Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(10), 1951-1982. doi:10.1007/s40279-017-0738-7
- Olbrecht, J. (2015). *The science of winning: planning, periodizing and optimizing swim training*. F&G Partners.
- Oöpik, V., Pääsuke, M., Sikku, T., Timpmann, S., Medijainen, L., Ereline, J., ... Gapejeva, E. (1996). Effect of rapid weight loss on metabolism and isokinetic performance capacity. A case study of two well trained wrestlers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36(2), 127-131.
- Oppliger, R. A., Magnes, S. A., Popowski, L. A. et Gisolfi, C. V. (2005). Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydration status. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 15(3), 236-251. doi:10.1123/ijsnem.15.3.236
- Passe, D., Horn, M., Stofan, J., Horswill, C. et Murray, R. (2007). Voluntary dehydration in runners despite favorable conditions for fluid intake. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(3), 284-295. doi:10.1123/ijsnem.17.3.284
- Pelly, F. E., Slater, G. J. et King, T. M. (2016). Assessment of hydration of athletes. Dans *Nutritional Assessment of Athletes* (p. 357–390). CRC Press.

- Périard, J. D., Tammam, A. H. et Thompson, M. W. (2012). Skeletal muscle strength and endurance are maintained during moderate dehydration. *International Journal of Sports Medicine*, 33(8), 607-612. doi:10.1055/s-0032-1306327
- Sagawa, S., Miki, K., Tajima, F., Tanaka, H., Choi, J. K., Keil, L. C., ... Greenleaf, J. E. (1992). Effect of dehydration on thirst and drinking during immersion in men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 72(1), 128-134. doi:10.1152/jappl.1992.72.1.128
- Savoie, F.-A., Kenefick, R. W., Ely, B. R., Cheuvront, S. N. et Goulet, E. D. B. (2015a). Effect of Hypohydration on Muscle Endurance, Strength, Anaerobic Power and Capacity and Vertical Jumping Ability: A Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(8), 1207-1227. doi:10.1007/s40279-015-0349-0
- Sawka, M. N., Toner, M. M., Francesconi, R. P. et Pandolf, K. B. (1983). Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 55(4), 1147-1153. doi:10.1152/jappl.1983.55.4.1147
- Sawka, Michael N. et Noakes, T. D. (2007). Does dehydration impair exercise performance? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1209-1217. doi:10.1249/mss.0b013e318124a664
- Sawka, Michael N. et Wenger, C. B. (1988). *Physiological responses to acute exercise-heat stress*. ARMY RESEARCH INST OF ENVIRONMENTAL MEDICINE NATICK MA.

- Schoffstall, J. E., Branch, J. D., Leutholtz, B. C. et Swain, D. E. (2001). Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 102-108.
- Shirreffs, S. M. et Maughan, R. J. (1998). Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(11), 1598-1602.
- Smith, M. S., Dyson, R., Hale, T., Harrison, J. H. et McManus, P. (2000). The effects in humans of rapid loss of body mass on a boxing-related task. *European Journal of Applied Physiology*, 83(1), 34-39. doi:10.1007/s004210000251
- Stachenfeld, N. S. (2008). Sex hormone effects on body fluid regulation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36(3), 152-159. doi:10.1097/JES.0b013e31817be928
- Stewart, C. J., Whyte, D. G., Cannon, J., Wickham, J. et Marino, F. E. (2014). Exercise-induced dehydration does not alter time trial or neuromuscular performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(9), 725-730. doi:10.1055/s-0033-1364022
- Stookey, J. D. (2005). High prevalence of plasma hypertonicity among community-dwelling older adults: results from NHANES III. *Journal of the American Dietetic Association*, 105(8), 1231-1239. doi:10.1016/j.jada.2005.05.003
- Stuempfle, K. J. et Drury, D. G. (2003). Comparison of 3 Methods to Assess Urine Specific Gravity in Collegiate Wrestlers. *Journal of Athletic Training*, 38(4), 315-319.

- TAIMURA, A., MATSUMOTO, T., LEE, J. B., OTHMAN, T., YAMAUCHI, M., SUGAWARA, M. et KOSAKA, M. (1999, juin). Effects of Fluid Ingestion During Intermittent High Intensity Swimming Exercise on Thermoregulatory Responses and Performance. *the Institute of Tropical Medicine, Nagasaki University*, p. 65-73.
- Taylor, N. A., Tipton, M. J. et Kenny, G. P. (2014). Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *Journal of thermal biology*, 46, 72-101.
- Teunissen, L. P. J., De Haan, A., De Koning, J. J. et Daanen, H. A. M. (2012). Telemetry pill versus rectal and esophageal temperature during extreme rates of exercise-induced core temperature change. *Physiological measurement*, 33(6), 915.
- Torranin, C., Smith, D. P. et Byrd, R. J. (1979). The effect of acute thermal dehydration and rapid rehydration on isometric and istic endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 19(1), 1-9.
- Tous-Fajardo, J., Maldonado, R. A., Quintana, J. M., Pozzo, M. et Tesch, P. A. (2006). The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *International journal of sports physiology and performance*, 1(3), 293-298.
- Vallier, J.-M., Grego, F., Basset, F., Lepers, R., Bernard, T. et Brisswalter, J. (2005). Effect of fluid ingestion on neuromuscular function during prolonged cycling

- exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 39(4), e17.
doi:10.1136/bjsm.2004.012393
- Verbalis, J. G. (2007). Renal function and vasopressin during marathon running. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(4-5), 455-458. doi:10.2165/00007256-200737040-00048
- Vescovi, J. D. et Watson, G. (2018). Variability of Body Mass and Urine Specific Gravity in Elite Male Field Hockey Players During a Pre-Olympic Training Camp. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 1-5.
doi:10.1123/ijsnem.2018-0121
- Viitasalo, J. T., Kyröläinen, H., Bosco, C. et Alen, M. (1987). Effects of rapid weight reduction on force production and vertical jumping height. *International Journal of Sports Medicine*, 8(4), 281-285. doi:10.1055/s-2008-1025670
- Walsh, R. M., Noakes, T. D., Hawley, J. A. et Dennis, S. C. (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *International Journal of Sports Medicine*, 15(7), 392-398. doi:10.1055/s-2007-1021076
- Watson, G., Judelson, D. A., Armstrong, L. E., Yeargin, S. W., Casa, D. J. et Maresh, C. M. (2005). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive sprint and power performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1168-1174.
- Webster, S., Rutt, R. et Weltman, A. (1990a). Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(2), 229-234.

- Webster, S., Rutt, R. et Weltman, A. (1990b). Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(2), 229-234.
- Weinberg, A. D. et Minaker, K. L. (1995). Dehydration. Evaluation and management in older adults. Council on Scientific Affairs, American Medical Association. *JAMA*, 274(19), 1552-1556.
- West, D. J., Owen, N. J., Cunningham, D. J., Cook, C. J. et Kilduff, L. P. (2011). Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 950-955. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c8656f
- Yamashita, N., Ito, R., Nakano, M. et Matsumoto, T. (2015). Two percent hypohydration does not impair self-selected high-intensity intermittent exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 116-125. doi:10.1519/JSC.0000000000000594
- Yoshida, T., Takanishi, T., Nakai, S., Yorimoto, A. et Morimoto, T. (2002a). The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. *European Journal of Applied Physiology*, 87(6), 529-534. doi:10.1007/s00421-002-0651-z
- Yoshida, T., Takanishi, T., Nakai, S., Yorimoto, A. et Morimoto, T. (2002b). The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. *European Journal of Applied Physiology*, 87(6), 529-534. doi:10.1007/s00421-002-0651-z

ANNEXE A

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Nom: _____

Code: _____

Courriel: _____

Personne que l'on peut rejoindre en cas d'urgence:

Nom: _____

Numéro de téléphone:

Maison: _____ Bureau: _____

Âge : _____

Taille : _____ cm

Poids : _____ kg

FC de repos : _____ bpm

Pression artérielle de repos : _____ / _____ mmHg

ANNEXE B

QUESTIONNAIRE DE SANTÉ

Le questionnaire de santé de la Société Canadienne de Physiologie de l'exercice est disponible à cette adresse de courriel:

http://www.csep.ca/CMFiles/publications/CSEP-0462-PATH_Readiness_Form-FRE_Updates_r3.pdf

ANNEXE C

QUESTIONNAIRE DE PERFORMANCE

Code : _____

1. Niveau de natation selon les critères de la FNQ :

Provincial- 1 :

Provincial- 2:

2. Meilleure performance au 100 m libre en bassin de 25 m (sec) :

3. Meilleure performance au 100 m libre en bassin de 50 m (sec) :

4. Spécialité (veuillez encercler):

Sprint (50 et 100 mètres) ; Moyenne distance (200 et 400 mètres) ; Distance (800 et 1500 mètres)

5. Meilleur style (veuillez encercler):

Crawl ; Dos ; Brasse ; Papillon ; Quatre nages

6. Nombre d'entraînements/semaine:

7. Nombre heures d'entraînement/semaine:

8. Depuis combien d'années pratiquez-vous la natation de compétition? _____

ANNEXE D

AIDE MÉMOIRE

Code: _____

Jours avant	Restrictions
1 re phase de familiarisation	
- 6	Aucune
- 5	
- 4	
- 3	
- 2	À partir de h <ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de l'entraînement en musculation • Arrêt de la consommation de suppléments alimentaires
- 1	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun entraînement en musculation • Aucune consommation de suppléments alimentaires • Contrôle de la diète: inscrire les aliments ainsi que la quantité dans le carnet de bord • Contrôle de l'hydratation: inscrire les liquides consommés ainsi que la quantité dans le carnet de bord • Consommation de 250 millilitres d'eau 60 minutes avant de vous coucher • Heure du coucher: h
0	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun entraînement en musculation • Aucune consommation de suppléments alimentaires • Contrôle de la diète: inscrire les aliments ainsi que la quantité dans le carnet de bord • Contrôle de l'hydratation: inscrire les liquides consommés ainsi que la quantité dans le carnet de bord • Aucun entraînement à partir de 8 heures avant la visite au laboratoire • 60 minutes avant l'arrivée au laboratoire (h): Consommation de 250 millilitres d'eau et vous demeurez à jeun par la suite
Phase de familiarisation 2 et 3 et expérimentations 1 et 2	
- 6	Aucune
- 5	
- 4	
-3	

- 2	<p style="text-align: center;">À partir de h</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de l'entraînement en musculation • Arrêt de la consommation de suppléments alimentaires
- 1	<p style="text-align: center;">À partir de h</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aucun entraînement en musculation • Aucune consommation de suppléments alimentaires • Contrôle de la diète: consommation identique des aliments ingérés lors du jour -1 précédant la 1^{re} phase de familiarisation (voir carnet de bord) • Contrôle de l'hydratation: consommation identique des liquides consommés lors du jour -1 précédant la 1^{re} phase de familiarisation (voir carnet de bord) • Consommation de 250 millilitres d'eau 60 minutes avant de vous coucher. • Vous vous couchez à la même heure que l'heure à laquelle vous vous êtes couché la nuit qui précéda votre 1^{re} phase de familiarisation • Heure du coucher: h
0	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la diète: consommation identique des aliments ingérés lors du jour 0 de la 1^{re} phase de familiarisation (voir carnet de bord) • Contrôle de l'hydratation: consommation identique des liquides consommés lors du jour 0 de la 1^{re} phase de familiarisation (voir carnet de bord) • Aucun entraînement à partir de 8 heures avant la visite au laboratoire • 60 minutes avant l'expérimentation (h): Consommation de 250 millilitres d'eau et vous demeurez à jeun par la suite

ANNEXE E

Procédure de classement des nageurs par le juge en chef à l'arrivée

SW Il.3 Tout dispositif de chronométrage manœuvré par un officiel doit être considéré comme un chronomètre. De tels chronométrages manuels doivent être effectués par trois chronométreurs désignés ou approuvés par l'instance dirigeante concernée. Un chronométrage manuel doit être enregistré au 1/100 de sec. Si aucun équipement automatique n'est utilisé, les temps manuels officiels doivent être déterminés comme suit:

SW Il.3.1 Si deux des trois chronomètres indiquent le même temps et que le troisième en indique un différent, les deux temps identiques seront le temps officiel.

SW Il.3.2 Si les trois chronomètres indiquent des temps différents, le chronomètre indiquant le temps intermédiaire sera le temps officiel.

SW 11.3.3 Avec seulement deux (2) des trois (3) chronomètres en fonctionnement le temps moyen sera le temps officiel.

CSW Il.3.3.1 Si seulement deux chronomètres sont utilisés, la moyenne arithmétique au centième le plus lent doit être le temps officiel.

ANNEXE F

Règlement de natation de /Natation Canada

(Édition révisée janvier 2002)

SW2.1.5 Au début de chaque épreuve, le juge-arbitre doit signaler aux nageurs, par une série de coups de sifflets brefs, de retirer tout vêtement, sauf le maillot de bain, puis par un long coup de sifflet, de prendre position sur le plot de départ. Quand les nageurs et officiels sont prêts pour le départ, le juge-arbitre doit faire un geste vers le starter, avec le bras tendu, pour indiquer que les nageurs sont sous le contrôle du starter. Le bras tendu doit rester dans cette position jusqu'à ce que le départ ait été donné.

SW 4.1 Pour les départs de nage libre, de brasse et de papillon, le départ doit s'effectuer par un plongeon. Au long coup de sifflet du juge arbitre (règle SW2.1.5), les nageurs doivent monter sur le plot de départ avec les deux pieds à la même distance du bord et doivent y rester. A la commande « à vos marque » du starter ils doivent immédiatement prendre une position de départ avec au moins un pied à l'avant des plots de départ. Lorsque tous les nageurs sont immobiles, le starter doit donner le signal de départ (coup de pistolet, coup de klaxon, coup de sifflet ou ordre).

SW 4.4 Tout nageur partant avant le signal de départ sera disqualifié.

SW 5.1 La nage libre signifie qu'une épreuve ainsi désignée, le nageur peut nager n'importe qu'elle style de nage.

SW5.2 Une partie quelconque du corps du nageur doit toucher le mur à la fin de la course de chaque couloir et à l'arrivée.

SW5.3 Une partie quelconque du corps du nageur doit briser la surface de l'eau pendant toute la course, à l'exception qu'il sera permis au nageur d'être complètement submergé pendant le virage et sur une distance de 15 mètres au plus après le départ et chaque virage. À partir de ce moment-là, la tête doit avoir brisé la surface de l'eau

ANNEXE G

CARNET DE BORD

[illegible]

ANNEXE H

PERCEPTION DE LA SOIF

1	
2	Aucune Soif
3	
4	Soif Légère
5	
6	Soif Modérée
7	
8	Soif Considérable
9	
10	Soif Extrême
11	

ANNEXE I

PERCEPTION DE LA CHALEUR

1	Trop frais
2	Frais
3	Confortablement frais
4	Confortable
5	Confortablement chaud
6	Chaud
7	Trop chaud

ANNEXE J

PERCEPTION DE NAUSÉE

1	Aucun (e)
2	Léger (ère)
3	Modéré (e)
4	Considérable
5	Extrême

ANNEXE K

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT À LA RECHERCHE

Titre du projet :	Impact d'une légère hypohydratation sur l'endurance anaérobie chez des nageurs entraînés lors d'un 100 mètres crawl
Numéro du projet :	2019-3187
Financement du projet :	Fonds de recherche départemental de la faculté des sciences de l'activité physique de l'Université de Sherbrooke
Chercheur principal :	Eric D.B. Goulet
Étudiant-chercheur :	Mohamed El Fethi Abed
Étudiants-chercheurs associés :	Thomas. A. Deshayes Pascale Claveau David Jeker François Thénault

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche qui vise à vérifier l'impact d'une légère hypohydratation (perte d'eau) de 1.5% du poids corporel lors d'une performance en natation sur un 100 m crawl. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Si vous acceptez de participer au projet de recherche, vous devrez signer le formulaire de consentement à la fin du présent document et nous vous en remettrons une copie pour vos dossiers.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les risques et inconvénients ainsi que les avantages, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Il peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions nécessaires au chercheur responsable du projet ou aux autres personnes affectées au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

La natation est un sport encore peu étudié. Nous savons qu'une perte d'eau corporelle (hypohydratation) peut réduire la performance lors d'un exercice aérobique comme le vélo ou la course à pied. Par contre, nous ne connaissons absolument pas les impacts qu'une perte d'eau corporelle pourrait avoir sur une performance en natation, plus particulièrement lors d'un 100 m crawl. Cette distance est habituellement complétée en moins de 70 sec par des athlètes élités. Or, les résultats d'une récente étude de notre laboratoire indiquent que l'hypohydratation

diminuerait de façon substantielle la performance lors d'exercices très intenses de 30 sec à vélo. Sur la base de cette observation, nous croyons qu'un état d'hypohydratation pourrait affecter négativement la performance lors d'un sprint de 100 m crawl.

La natation a un effet particulier sur la perception de la soif puisqu'une immersion dans l'eau a comme effet de supprimer la production d'une hormone contrôlant la soif. Ainsi, nous savons que les nageurs ont une perception de la soif plus faible lors de l'entraînement en piscine et sont portés à moins s'hydrater. À cet égard, il a été démontré que, de façon relativement fréquente, les nageurs expérimentés se présentent à la piscine avec une légère hypohydratation et qu'ils la maintiennent tout au long de l'entraînement, même en ayant accès à l'eau. De plus, en période de compétition, il arrive que plusieurs étapes se succèdent rapidement, comme la fin de l'échauffement, la période pour se changer pour mettre la combinaison et finalement l'épreuve. Or, ces périodes ne permettent pas aux athlètes de s'hydrater de façon optimale pour leur course. Ainsi, il apparaît que les nageurs peuvent fréquemment s'entraîner et compétitionner en état d'hypohydratation.

Conséquemment, le but de cette étude est de vérifier, chez des hommes et des femmes, l'impact d'une hypohydratation légère lors d'une performance en natation de 100 m crawl chez des nageurs du niveau universitaire.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Si vous acceptez de participer au projet après la lecture du présent formulaire, votre implication exigera 6 visites au laboratoire de recherche sur la performance, l'hydratation et la thermorégulation (situé au local J1-119 du Centre sportif de l'Université de Sherbrooke) et à la piscine située, aussi, au Centre sportif de l'Université de Sherbrooke.

La visite préliminaire, d'une durée d'environ 90 minutes, pourra être effectuée selon un horaire vous convenant. Les visites 2, 3 et 4 (~ 1 heure) ainsi que 5 et 6 (~ 3-4 heures), devront être effectuées aux mêmes heures de la journée.

Les visites 1 et 2 devront être séparées par une période minimale de 24 heures et une période maximale de 5 jours. Les visites 2, 3 et 4 devront être séparées par une période minimale de 2 jours, et une période maximale de 7 jours. Les visites 5 et 6 devront être séparées par une période minimale de 7 jours, et une période maximale de 10 jours.

Vous allez participer aux deux conditions expérimentales à savoir, condition hydraté et condition hypohydraté, c'est-à-dire, vous agissez comme votre propre témoin.

1ère visite au laboratoire (évaluation préliminaire)

Durant cette visite, d'une durée approximative de 90 minutes, nous procéderons à plusieurs examens et procédures qui détermineront si vous êtes admissible au projet. Le personnel du projet de recherche recueillera des données de base afin de vous caractériser. Les procédures et mesures utilisées pour cette visite sont décrites comme suit :

- On vous accueille au laboratoire;
- On vous fera la lecture du formulaire de consentement et on répondra à vos questions;
- Nous allons prendre de façon écrite votre consentement;
- Nous allons prendre des renseignements généraux comme votre nom/prénom, le nom d'une personne que l'on pourrait rejoindre en cas d'urgence, votre âge, votre taille, etc.;
- Vous allez remplir un questionnaire de santé et un questionnaire sur la

performance;

- Nous allons mesurer votre tension artérielle et votre fréquence cardiaque de repos;
- Vous allez vidanger votre vessie;
- Nous allons mesurer votre poids et votre taille;
- Nous allons mesurer votre composition corporelle avec un DXA. Cet appareil, utilisé pour détecter l'ostéoporose, émet un faible rayon-X et permet de calculer le pourcentage de masse osseuse, masse grasse et masse maigre de votre corps. La mesure sera effectuée en position couchée et sera d'une durée d'environ 5 min.
- Nous allons vous remettre un aide-mémoire.

2e, 3e et 4e visites (phases de familiarisation)

Ces visites sont nécessaires afin de vous familiariser avec les procédures utilisées pendant les expérimentations. Ci-dessous est donnée une description du déroulement des visites.

- On vous accueille à la piscine du centre Sportif;
- Vous vous habillez pour l'exercice à venir;
- Vous aurez à effectuer un échauffement individualisé (30 min);
- Vous aurez à effectuer 3 sauts sur une plateforme de force, et une distance de 100 m crawl à vitesse de course.

5e et 6e visites (expérimentations)

Lors de ces visites, vous effectuerez les 2 expérimentations. À une occasion vous serez bien hydraté et dans l'autre vous serez hypohydraté. Il est important de vous souvenir que vous effectuez les 2 visites puisque vous agissez comme votre propre contrôle

Bien hydraté

La quantité totale d'eau ingérée sera proportionnelle à une perte de poids corporel de 1.5%. Ainsi, pour une personne de 70 kg, ~1000 ml d'eau seront ingérés.

ou

Hypohydraté

Vous ne pourrez consommer aucun liquide. Par contre, vous allez être en mesure de vous rincer la bouche avec de l'eau à des intervalles réguliers.

Les procédures utilisées pendant les expérimentations sont décrites ci-dessous:

- On vous accueille au laboratoire;
- Vous allez vidanger votre vessie dans un urinoir;
- Nous allons mesurer votre poids corporel;
- Vous devrez installer une sonde rectale téléométrique;
- Vous devrez installer une ceinture sous la poitrine afin de mesurer la fréquence cardiaque ;
- Vous devrez mettre votre maillot de bain;
- Nous allons mesurer votre température corporelle;
- Vous vous installez en position assise ou debout dans la chambre environnementale à une température de 45°C, 20% humidité. Cette exposition induira une production de sudation et permettra de vous faire perdre de l'eau à travers la sudation. La chambre environnementale est une pièce dont la chaleur et l'humidité sont contrôlées;
- Vous alternerez entre 25 minutes à l'intérieur de la chambre environnementale et 2 minutes à l'extérieur de celle-ci. À chaque fois que

vous sortirez de la chambre environnementale nous vous demanderons d'uriner et une prise de poids corporel sera effectuée. On vous demande d'uriner afin de comprendre les pertes d'eau corporelle. Aucun échantillon d'urine ne sera gardé. Ce cycle sera répété toutes les 25 minutes jusqu'à ce que vous perdiez 1.5% de votre poids corporel. Lors du retour dans la chambre, vous consommerez ou non du liquide. Pour le groupe hypohydraté, il sera possible de se rincer la bouche à une reprise. Une période d'environ 90 minutes sera nécessaire afin de perdre 1.5% du poids corporel;

- Une fois la perte de poids corporel atteinte, vous quitterez la chambre environnementale puis vous vous reposerez pendant 1 heure à une température de 20°C. Pendant cette période, nous allons mesurer votre température corporelle à toutes les 10 minutes;
- À la fin de cette période, vous devrez vidanger votre vessie et on mesurera votre poids corporel. On vous demandera de boire, si nécessaire, une petite quantité de liquide pour compenser ce que vous avez perdu en sudation pendant cette période d'attente;
- Vous irez à la piscine;
- Vous devrez effectuer un échauffement individualisé (30 minutes);
- Vous devrez effectuer 3 sauts sur une plateforme de force;
- Vous devrez vidanger votre vessie et on mesurera votre poids corporel;
- Vous devrez nager un 100 m crawl le plus rapidement possible.

COLLABORATION DU PARTICIPANT

Pendant le projet, on s'attend à ce que vous modifiiez certaines habitudes de vie au point de vue de votre nutrition, de votre entraînement et de votre sommeil.

Nutrition

- Pendant les dernières 24 heures avant la visite 2 (phase de familiarisation), vous devrez noter dans un carnet de bord les aliments et liquides ingérés. Nous vous demanderons de consommer les mêmes aliments et liquides lors des dernières 24 heures avant l'ensemble des visites restantes;
- Vous devrez arrêter de consommer tout supplément alimentaire 48 heures avant les visites 2, 3, 4, 5 et 6;
- Pour assurer une bonne hydratation, vous devrez consommer 250 millilitres d'eau (1 tasse) 60 minutes avant de vous coucher la nuit qui précédera les visites 2, 3, 4, 5 et 6. De plus, vous devrez consommer 250 millilitres de liquide 60 minutes avant de vous présenter au laboratoire lors des visites 2, 3, 4, 5 et 6, après quoi vous devrez demeurer à jeun.

Entraînement

- Vous pourrez maintenir votre routine d'entraînement pendant la semaine qui précédera les visites 2, 3, 4, 5 et 6;
- Vous devrez arrêter les entraînements en musculation 72 heures avant les visites 2, 3, 4, 5 et 6;
- Vous ne pourrez effectuer aucun entraînement lors des dernières 8 heures avant les visites 2, 3, 4, 5 et 6.

Sommeil

- Vous devrez vous coucher aux mêmes heures la nuit précédant les phases de familiarisation et les deux expérimentations.

RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

- Les périodes sous la chaleur pourraient, chez certains individus plus susceptibles, causer des maux de tête, des nausées, des étourdissements, des vomissements, des crampes musculaires et une faiblesse généralisée. Par contre, la prévalence de ces événements est rare chez les personnes actives en santé. Afin d'éviter le développement d'une situation d'épuisement causé par la chaleur, les expérimentations seront stoppées si votre température rectale atteint 40°C;
- Vous serez soumis à une faible dose de radiation lors du test de composition corporelle (DXA). Cependant, cette dose se situe largement en dessous des normes annuelles de radiation permises;
- Si des problèmes de santé se manifestent pendant l'expérimentation, vous devrez les signaler aux chercheurs aussitôt que vous les ressentez. Si les symptômes ressentis sont considérés comme importants, l'expérimentation arrêtera immédiatement et sera remise à un jour subséquent, à moins que vous décidiez de vous retirer du projet. À tout moment pendant l'expérimentation le chercheur (ou vous-même) peut décider de mettre fin à l'expérimentation.

INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

- L'exposition à la chaleur pourrait engendrer des perceptions subjectives peu agréables comme la sensation d'avoir très chaud ou d'être fatigué;
- La sensation de soif pourrait être désagréable lors de l'expérimentation où la prise de liquide ne sera pas permise;
- Certains participants pourraient ressentir un léger inconfort en insérant la sonde rectale téléométrique;
- Le projet est associé à certaines contraintes au niveau de l'alimentation, l'hydratation, l'entraînement et les heures de sommeil.

AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons pas le garantir. Par ailleurs, les informations découlant de ce projet de recherche pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine lié à la performance et l'hydratation.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET POSSIBILITÉ DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un des membres du personnel affecté au projet. Votre décision de participer ou non n'aura aucun impact sur votre parcours scolaire et vos relations présentes ou futures avec les membres de l'équipe de recherche.

Le chercheur responsable du projet et le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS de l'Estrie - CHUS peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

À moins d'avis contraire de votre part, si vous vous retirez du projet ou en êtes retiré, l'information vous concernant obtenue dans le cadre du projet sera conservée et liée à un code que seuls les expérimentateurs connaissent. Ainsi, il sera

impossible de les lier à votre nom, prénom, coordonnées ou date de naissance. L'information sera conservée par le chercheur principal du projet durant 5 ans. Passé ce délai, l'information sera détruite selon les normes en vigueur au CIUSSS de l'Estrie - CHUS. Pendant l'étude les données seront conservées sous format papier sous clés dans le laboratoire du Dr. Goulet. À la suite de l'étude, elles seront conservées sous clés, format papier et dans un classeur Excel, dans le bureau du Dr. Goulet, pendant une période de 5 ans, après quoi elles seront détruites selon les normes reconnues. Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai verbalement ou par écrit.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet, nous recueillerons et consignerons dans un dossier de recherche des renseignements qui vous concernent. Seuls ceux qui sont strictement nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques du projet seront recueillis et utilisés à des fins de recherche.

Ces renseignements (données) comprendront les informations suivantes :

- Votre nom, votre âge et votre adresse de courriel;
- Votre état de santé présent;
- Les résultats de tous les tests et de toutes les procédures que vous aurez à faire durant ce projet.

Toutes ces données demeureront strictement confidentielles, dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements recueillis, vous serez identifié par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée exclusivement par le chercheur responsable.

À la fin du projet de recherche, les données recueillies contenues dans votre dossier de recherche seront rendues anonymes, c'est-à-dire qu'il sera impossible de les lier à votre nom, prénom, coordonnées ou date de naissance.

Ainsi, les données pourront:

- Servir pour d'autres analyses reliées au projet;
- Servir pour l'élaboration de projets de recherche futurs.

Et les résultats de recherche pourront:

- Être publiés dans des revues spécialisées;
- Faire l'objet de discussions scientifiques.

Quant à vos renseignements personnels (votre nom et/ou vos coordonnées), ils seront conservés, dans un dossier séparé, pendant 5 ans après la fin du projet par le chercheur responsable et seront détruits selon les normes en vigueur au CIUSSS de l'Estrie - CHUS par la suite.

Les personnes suivantes pourront consulter votre dossier de recherche :

- Vous-même, pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable ou le CIUSSS de l'Estrie - CHUS détiennent ces informations.
- Une personne mandatée par le CÉR du CIUSSS de l'Estrie - CHUS ou par des organismes publics autorisés et ce, à des fins de surveillance et de contrôle. Toutes ces personnes et tous ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

COMPENSATION

En guise de compensation pour les frais encourus en raison de votre participation

au projet de recherche, vous recevrez un montant de 100\$. Cette compensation vous sera remise à la fin de votre participation et sera proportionnelle au nombre de visites complétées, soit 17\$ par visite.

EN CAS DE PRÉJUDICE

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leurs responsabilités civile et professionnelle.

SURVEILLANCE DES ASPECTS ÉTHIQUES

Le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS de l'Estrie - CHUS a approuvé ce projet de recherche et en assurera le suivi.

ÉTUDES ULTÉRIEURES

Dans l'éventualité où des projets de recherche similaires à celui-ci se réaliseraient dans les 5 prochaines années, acceptez-vous qu'un membre de l'équipe de recherche prenne contact avec vous pour vous proposer une nouvelle participation? Bien sûr, lors de cet appel, vous seriez entièrement libre d'accepter ou de refuser de participer.

Oui ☐ Non ☐

CONSENTEMENT

J'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement. On m'a expliqué le projet de recherche et le présent formulaire d'information et de consentement. On a répondu à mes questions et on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision. Après réflexion, je consens à participer à ce projet de

recherche aux conditions qui y sont énoncées.

J'accepte que l'on contacte mon médecin de famille en cas de découvertes fortuites.

Oui ☐ Non ☐

Nom du médecin de famille
téléphone

Numéro de

Nom et signature du participant

Date

J'ai expliqué au participant le projet de recherche et le présent formulaire d'information et de consentement et j'ai répondu aux questions qu'il m'a posées.

Nom de la personne qui
obtient le consentement
(lettres moulées)

Signature
Date

CALENDRIER DES VISITES ET INTERVENTIONS

	Visite 1	Visite 2	Visite 3	Visite 4	Visite 5	Visite 6
Formulaire de consentement	X					
Renseignements généraux	X					
Questionnaire de santé	X					
Tension artérielle	X					
Fréquence cardiaque	X				X	X
Vidange de la vessie	X				X	X
Échantillons d'urine	X				X	X
Taille	X					
Poids corporel	X	X	X	X	X	X
DXA	X					
Exigences auxquelles vous devrez vous conformer avant de vous présenter au laboratoire		X	X	X	X	X
Température corporelle					X	X
Saut sur plateforme de force		X	X	X	X	X
100 m crawl		X	X	X	X	X

ANNEXE L

Faculté des sciences de l'activité physique

Département de kinanthropologie

Programme de maîtrise en sciences de l'activité physique

Autorisation d'intégrer un article dans un mémoire

Par la présente, chacune et chacun des coauteurs de l'article intitulé et dont le nom et les signatures sont apposés ci-contre :

Titre de l'article : **Impact of Mild Hypohydration on 100-m Freestyle Performance and Starting Block Peak Force Production in Competitive Swimmers**

Acceptent que celui-ci soit intégré au mémoire de maîtrise de Nom de l'étudiante ou de l'étudiant du programme de maîtrise en sciences de l'activité physique de la Faculté des sciences de l'activité physique de l'Université de Sherbrooke.

Nom :	Thomas. A. Deshayes	Date :	14 juin 2020
Signature :			
Nom :	Pascale Claveau	Date :	22 juin 2020
Signature :			
Nom :	David Jeker	Date :	15 juin 2020
Signature :			
Nom :	François Thénault	Date :	15 juin 2020
Signature :			
Nom :	Eric D.B. Goulet	Date :	15 juin 2020
Signature :			